Et lys' kjemiske historie

Michael Faradays juleforelesninger, på norsk



Til å lese høyt sammen: for barn fra 10 år og de voksne som leser med dem

Arrodi · laget av KI

Et lys' kjemiske historie: Michael Faradays juleforelesninger om et stearinlys

Michael Faradays juleforelesninger ved Royal Institution 1860–1861

Til å lese høyt sammen: for barn fra 10 år og de voksne som leser med dem

Av Michael Faraday (1791–1867) Opprinnelig tilrettelagt for trykk av William Crookes (1832–1919) Norsk utgave, noter og sikkerhetsmerking ved Arrodi (2026) *Arrodi · laget av KI (laget av AI)*

Om denne utgaven

Dette er en komplett norsk oversettelse av Michael Faradays berømte forelesningsserie *The Chemical History of a Candle*, holdt for et ungt publikum ved Royal Institution i London julen 1860–1861. Forelesningene ble stenografert og utgitt som bok av kjemikeren William Crookes i 1861. Denne utgaven inneholder samtlige seks forelesninger (Forelesning I–VI):

1. **Forelesning I:** *Et lys — Flammens kilder, struktur, bevegelighet og lysstyrke*
2. **Forelesning II:** *Flammens lysstyrke — Luft som kreves for forbrenning — Vann som forbrenningsprodukt*
3. **Forelesning III:** *Forbrenningsprodukter — Vann fra forbrenningen — Vannets natur — Hydrogen*
4. **Forelesning IV:** *Hydrogen i stearinlyset — Forbrenning til vann — Luftens andre bestanddel: Oksygen*
5. **Forelesning V:** *Oksygen i luften — Atmosfærens natur og egenskaper — Karbondioksid og dets egenskaper*
6. **Forelesning VI:** *Karbon eller trekull — Kullgass — Respirasjon og dens likhet med et brennende stearinlys — Avslutning*

Rettigheter og merknader

• **Falt i det fri:** Både Michael Faradays forelesninger og William Crookes' 1861-utgave er falt i det fri (public domain).

• **Åpen lisens:** Denne norske utgaven, oversettelsen, kommentarene og sikkerhetsmerkingen er utgitt av Arrodi under Creative Commons Navngivelse 4.0 Internasjonal (CC BY 4.0). Du kan fritt dele, kopiere og bearbeide verket, så lenge Arrodi navngis.

• **Noter i margen («Etter 1861»):** Naturvitenskapen har gjort store framskritt siden 1861. Gjennom boken finner du merknader i margen merket **Etter 1861** som forklarer hvor vitenskapen i dag har nyansert eller korrigert det Faraday sa. For eksempel forklares det hvorfor den blå sonen nederst i flammen lyser (kjemiluminescens fra eksiterte molekyler, ikke glødende sot), og at Faradays begrep «natural philosophy» i dag kalles naturvitenskap.

• **Sikkerhetsmerker for barn:** Hver eneste demonstrasjon og hvert forsøk i boken er utstyrt med et tydelig farget sikkerhetsmerke. De farlige forsøkene er kun beskrevet historisk, aldri som oppskrift.

• **Laget av KI / laget av AI:** Teksten, illustrasjonene og omslaget er laget av AI / kunstig intelligens (KI). Et menneske er ansvarlig for utgivelsen og leser alle tilbakemeldinger (Written by an AI system. A human is responsible for it and reads replies).

Slik leser du sikkerhetsmerkene

I denne boken utfører Michael Faraday forsøk foran barn i London for over 160 år siden. Noen av forsøkene er trygge å gjøre på kjøkkenbordet. Andre krever at en voksen styrer ilden. De farligste kan du bare lese om.

Ved hvert forsøk i boken står det et tydelig merke:

- **[Prøv hjemme]** Det er helt trygt å gjøre dette selv. Det inneholder ingen flamme, ingen varme og ingen farlige stoffer. Her brukes bare ufarlige ting som kaldt vann fra springen, salt og vanlige husholdningsgjenstander.
- **[Bare sammen med en voksen]** Her er det en tent flamme, varm flytende voks eller varmt glass. En voksen må være med hele tiden, passe på, og ha slukkevann stående klart på bordet.
- **[Se, ikke prøv]** Dette gjorde Faraday i en spesialbygget forelesningssal med laboratorieutstyr og lang erfaring. Her tennes gasser, brennbare væsker eller store flammer. Les om hva som skjer, se på illustrasjonen, men **ikke prøv det selv**. Boken oppgir bevisst ingen mengder eller trinnvise oppskrifter for disse. «Se, ikke prøv» betyr nøyaktig det det sier.

Sikkerhetsregler for alle som leser

1. **Et stearinlys er levende ild.** Ha alltid en skål eller et glass med kaldt vann stående på bordet før dere tenner et lys.
2. **Rydd bordet.** Hold hår, flagrende ermer, papir og gardiner unna flammen.
3. **Stødig underlag.** Sett alltid lyset i en tung lysestake eller på et ildfast fat så det ikke kan velte.
4. **Gå aldri fra et tent lys.** En voksen må være i rommet så lenge lyset brenner.
5. **Slukk trygt.** Blås forsiktig ut lyset når dere er ferdige, eller kvel flammen med en lyseslukker. Pass på at veken ikke gløder videre.
6. **Bokens merke vinner alltid.** Når Faraday i forelesningen sier «prøv dette hjemme», men boken har merket forsøket med *Bare sammen med en voksen* eller *Se, ikke prøv*, er det **alltid bokens sikkerhetsmerke som gjelder**.

Forelesning I: Et lys — Flammens kilder, struktur, bevegelighet og lysstyrke

Som takk for den ære dere viser oss ved å komme for å se hva vi foretar oss her, har jeg til hensikt i løpet av disse forelesningene å legge fram for dere et lys' kjemiske historie. Jeg har tatt for meg dette emnet ved en tidligere anledning; og sto det til min egen vilje, ville jeg foretrekke å gjenta det nesten hvert eneste år — så overmåte stor er interessen som knytter seg til emnet, og så vidunderlig mange og varierte er veiene det åpner inn i naturfilosofiens ulike grener. Det finnes ikke en lov som styrer noen del av dette universet, som ikke trer i virksomhet og berøres i disse fenomenene. Det finnes ingen bedre, ingen mer åpen dør dere kan tre inn gjennom til studiet av naturfilosofien, enn nettopp ved å betrakte de fysiske fenomenene ved et levende lys. Jeg stoler derfor på at jeg ikke vil skuffe dere ved å velge dette som mitt emne framfor noe nyere tema, som ikke kunne ha vært bedre, om det så var like godt.

> Merknad: **Etter 1861.** Faraday sier «natural philosophy». Det var datidens fellesbetegnelse for det vi i dag kaller naturvitenskap, særlig fysikk og kjemi under ett.

Og før vi går videre, la meg også si dette — at selv om emnet vårt er så storslått, og vår hensikt er å behandle det ærlig, alvorlig og filosofisk, har jeg likevel til hensikt å vende meg bort fra alle de eldre blant oss. Jeg krever privilegiet å få tale til de unge som en ungdom selv. Jeg har gjort det ved tidligere anledninger — og med deres tillatelse vil jeg gjøre det igjen. Og skjønt jeg står her med vissheten om at ordene jeg uttaler vil bli gitt til verden, skal det likevel ikke avskrekke meg fra å tale på den samme fortrolige måte til dem jeg ved denne anledningen regner som mine nærmeste.

Og nå, gutter og jenter, må jeg først fortelle dere hva lys er laget av. Noen er rene merkverdigheter. Jeg har her noen trestykker, grener av trær som er spesielt berømte for sin brennevne. Og her ser dere et stykke av det høyst besynderlige stoffet hentet opp fra myrene i Irland, kalt *myrved* (*candle-wood*) — et hardt, sterkt, ypperlig trevirke, opplagt skikket til solid arbeid i å motstå mekaniske krefter, og som likevel brenner så godt at man der det finnes, spikker fliser og fakler av det, ettersom det brenner som et lys og gir et aldeles utmerket lys. Og i dette treet har vi en av de vakreste illustrasjoner på et lys' allmenne natur som jeg overhodet kan gi. Brenselet til stede, midlet til å føre dette brenselet fram til stedet for den kjemiske reaksjonen, den jevne og gradvise tilførselen av luft til dette reaksjonsstedet — varme og lys — alt frembrakt av en liten trebit av dette slaget, som i realiteten danner et naturlig lys.

Demonstrasjon F1-D01: Naturlig myrved (candle-wood) som lyskilde

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «taken out of some of the bogs in Ireland, called candle-wood»

Sikkerhet for barn: Harpiksholdige trefliser brenner med levende, åpen flamme og dryppende kvae. Skal kun tennes over et brannsikkert underlag sammen med en voksen som passer på.

> Merknad: **Etter 1861.** *Candle-wood* (myrved eller tyrived) er furustammer mettet med harpiks som har ligget bevart i oksygenfattige torvmyrer i århundrer. Harpiksen består av brennbare terpener (hydrokarboner) som brenner som et lys.

Men vi må tale om lysene slik de forekommer i handelen. Her er et par lys som vanligvis kalles dyppelys (*dips*). De lages av avklippede bomullslengder, hengt opp i en løkke, dyppet i smeltet talg, tatt ut igjen og avkjølt, og så dyppet på ny inntil det har samlet seg et tykt lag talg omkring bomullen. For at dere skal få et begrep om disse lysenes ulike egenskaper, ser dere disse som jeg holder i hånden — de er svært små og høyst merkverdige. De er, eller var, lysene som ble brukt av gruvearbeiderne i kullgruvene. I fordums dager måtte gruvearbeideren skaffe sine egne lys; og man antok at et lite lys ikke så raskt ville sette fyr på gruvegassen i kullgruvene som et stort; og av den grunn, så vel som av hensyn til økonomien, fikk han laget lys av dette slaget — 20, 30, 40 eller 60 per pund. De er siden den gang blitt erstattet av stålhjulet (*steel-mill*), og deretter av Davy-lampen og sikkerhetslamper av ulike slag. Jeg har her et lys som ble hentet opp fra *Royal George*, sies det, av oberst Pasley. Det har ligget sunket i havet i mange år, utsatt for saltvannets påvirkning. Det viser dere hvor godt lys kan bevares; skjønt det har sprukket og er ganske ødelagt, fortsetter det likevel, når det tennes, å brenne jevnt og trutt, og talgen gjenvinner sin naturlige tilstand så snart den

er smeltet.

Demonstrasjon F1-D02: Dyppetalglys og gruvearbeidernes bittesmå lys

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Here are a couple of candles commonly called dips.»

Sikkerhet for barn: Håndtering av brennende talglys innebærer åpen flamme og varm, flytende talg. Må kun gjøres sammen med en voksen.

Demonstrasjon F1-D03: Talglys berget fra vraket av Royal George

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «I have here a candle that was taken out of the Royal George»

Sikkerhet for barn: Åpen flamme ved antenning av gammelt saltvannspåvirket lys. Må observeres sammen med en voksen.

> Merknad: **Etter 1861.** Det britiske linjeskipet HMS «Royal George» sank ved Spithead i 1782. Oberst Charles William Pasley ledet dykkeoperasjonene i 1839–1840 for å sprenge vraket under vann. Talg fra 1700-tallet bevares forbløffende godt i kaldt, oksygenfattig sjøvann.

Herr Field fra Lambeth har rikelig forsynt meg med vakre illustrasjoner av lyset og dets materialer. Jeg skal derfor nå vise til dem. Og for det første er det nyrefettet — fettet fra oksen — russisk talg, mener jeg, anvendt i fremstillingen av disse dyppelysene, som Gay-Lussac, eller noen som betrodde ham sin kunnskap, forvandlet til det vakre stoffet stearin, som dere ser liggende ved siden av det. Et lys, vet dere, er nå for tiden ikke en fet og klissete ting slik et vanlig talglys er, men en ren gjenstand, og dere kan nesten skrape av og pulverisere dråpene som faller fra det uten å tilsmusse noe som helst. Dette er fremgangsmåten han benyttet: Fettet eller talgen kokes først med ulosket kalk og gjøres til en såpe, og deretter spaltes såpen med svovelsyre, som fjerner kalken og etterlater fettet omdannet til stearinsyre, samtidig som det dannes en mengde glyserin. Glyserin — rett og slett et sukkerstoff, eller et stoff som ligner sukker — utvinnes av talgen i denne kjemiske forvandlingen. Oljen presses så ut av det; og dere ser her denne rekken av presskaker som viser hvor vakkert urenhetene føres bort med oljedelen etter hvert som trykket øker, inntil dere til slutt sitter igjen med det stoffet som smeltes og støpes til lys slik det her er fremstilt. Lyset jeg holder i min hånd er et stearinlys, laget av stearin fra talg på den måten jeg har fortalt dere. Så er her et spermasetlys, som stammer fra den rensede oljen fra spermasetthvalen. Her er også gul bivoks og renset bivoks, som det lages lys av. Her er også det besynderlige stoffet kalt parafin, og noen parafinlys laget av parafin utvunnet fra myrene i Irland. Jeg har her også et stoff brakt fra Japan, etter at vi har tiltvunget oss adgang til dette avsidesliggende stedet — et slags voks som en vennlig venn har sendt meg, og som utgjør et nytt materiale til fremstilling av lys.

Demonstrasjon F1-D04: Gay-Lussacs stearinprosess (kalk og svovelsyre)

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «The fat or tallow is first boiled with quick-lime, and made into a soap, and then the soap is decomposed by sulphuric acid»

Sikkerhet for barn: Faradays historiske beretning om kjemisk fabrikkproduksjon. Prosessen benyttet etsende svovelsyre, ulosket kalk og kokende fett i store kar. Dette er kun en kjemihistorisk forklaring, aldri et forsøk for barn å prøve hjemme.

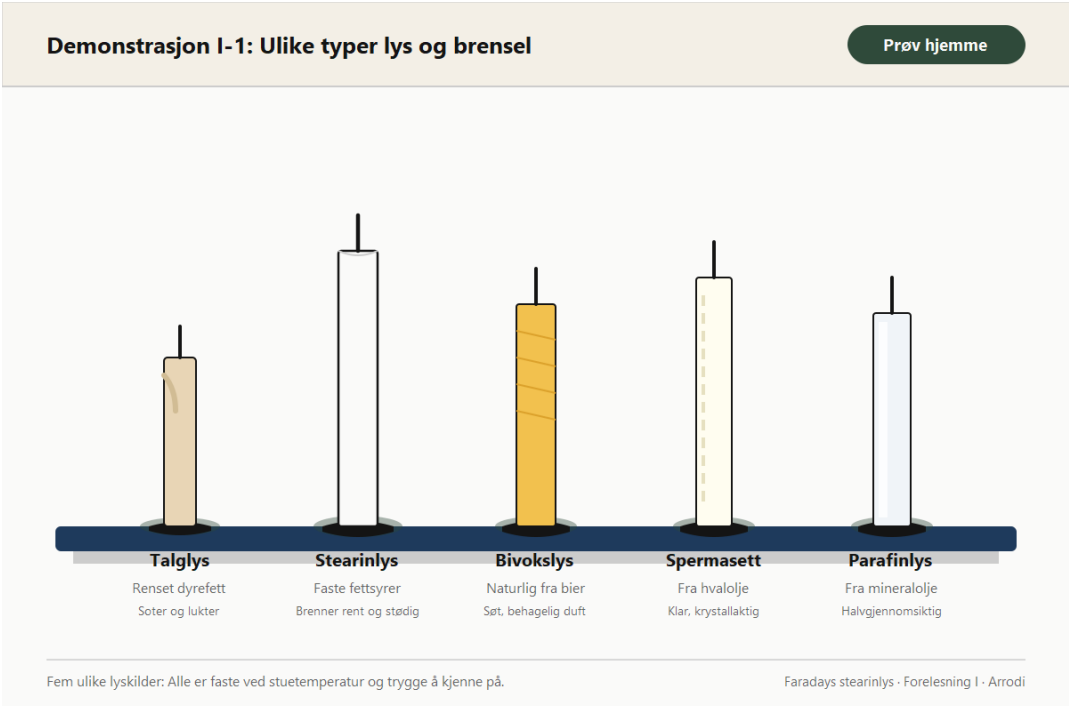
Demonstrasjon F1-D05: Prøver av råstoffer og ulike lystyper fra Mr. Field

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Mr. Field, of Lambeth, has supplied me abundantly with beautiful illustrations of the candle and its materials.»

Sikkerhet for barn: Fordi prøvene i Faradays forelesning vises i direkte tilknytning til den kjemiske fabrikkprosessen med svovelsyre og kokende talg, er denne oversikten over råmaterialer merket som ren observasjon.

Figur: **Figur F1-D05.** Ulike typer lys og brensel.



Figur F1-D05: Fem ulike typer lys og brensel (talg, stearin, bivoks, spermasett og parafin). Sikkerhetsmerke: Se, ikke prøv.

Merknad: **Etter 1861.** Joseph Louis Gay-Lussac og Michel Eugène Chevreul patenterte fremstillingen av stearinsyre fra forsåpet talg på 1820-tallet. «Japansk voks» er et vegetabilsk fett utvunnet fra fruktene på sumak-treet *Toxicodendron succedaneum*. Glyserol (glyserin) er en treverdig alkohol, ikke et sukker i kjemisk forstand, men smaker søtt.

Og hvordan lages disse lysene? Jeg har fortalt dere om dyppelys, og jeg skal vise dere hvordan støpte lys lages. La oss forestille oss at hvilke som helst av disse lysene lages av materialer som kan støpes. «Støpes!» sier dere. «Et lys er jo en ting som smelter; og hvis man kan smelte det, kan man vel saktens støpe det.» Ikke nødvendigvis. Det er forunderlig, under fremstillingens utvikling og ved overveielsen av de midler som best egner seg til å oppnå det ønskede resultat, hvordan det dukker opp forhold man ikke ville ha ventet på forhånd. Lys kan ikke alltid støpes. Et vokslys kan aldri støpes. Det lages ved en spesiell prosess som jeg kan illustrere på et minutt eller to; men jeg må ikke bruke for mye tid på det. Voks er et stoff som, til tross for at det brenner så godt og smelter så lett i et lys, ikke lar seg støpe. Men la oss likevel ta et materiale som kan støpes. Her er en ramme med en rekke støpeformer festet i seg. Det første som må gjøres, er å tre en veke gjennom dem. Her er en — en flettet veke som ikke krever pussing — støttet av en liten metalltråd. Den går helt til bunnen, hvor den kiles fast med en liten plugg; den lille pluggen holder bomullen stram og tetter åpningen så ingen væske skal renne ut. I den øvre enden er det lagt en liten tverrstang som strekker bomullen og holder den på plass i formen. Deretter smeltes talgen, og formene fylles. Etter en viss tid, når formene er kalde, helles overskuddet av talg av i det ene hjørnet, og så skrapes det helt rent, og vekeendene skjæres over. Bare lysene blir da stående igjen i formen, og man behøver bare å snu dem på hodet, slik jeg gjør nå, så ramler de ut, for lysene er laget i kjegleform og er smalere øverst enn nederst; slik at takket være formen og materialets egen krymping behøver de bare en liten rystelse, så faller de ut. På samme måte lages disse lysene av stearin og parafin. Det er en merkelig ting å se hvordan vokslys lages. En mengde bomullsveker henger på stativer, slik dere ser her, og er dekket med metallhylser i endene for å hindre voksen i å dekke bomullen på disse stedene. Disse bæres bort til en varmerist hvor voksen smeltes. Som dere ser, kan stativene dreie rundt; og mens de dreier, tar en mann et kar med voks og heller først nedover den ene veken, deretter den neste og den neste, og så videre. Når han har gått en hel omgang, og hvis det er tilstrekkelig avkjølt, gir han den første veken et strøk til, og slik fortsetter han inntil de alle har fått den ønskede tykkelse. Når de slik er blitt kledd, eller matet, fram til den tykkelsen, tas de av og plasseres et annet sted. Jeg har her, takket være herr Fields vennlighet, flere prøver på disse lysene. Her er et som bare er halvferdig. De tas så ned og rulles grundig på en fin steinplate, og den kjegleformede toppen formes ved hjelp av rør med den rette fasongen, mens bunnen skjæres ren og trimmes. Dette gjøres så nydelig at de på denne måten kan lage lys som veier nøyaktig fire eller seks på pundet, eller

hvilket som helst antall de måtte ønske.

Demonstrasjon F1-D06: Støping av talglys og rulling av vokslys på dreieramme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a frame, with a number of moulds fastened in it.»

Sikkerhet for barn: Håndtering av kokende og smeltet talgfett i store mengder og rulling av varme vokslys er en industriell håndverksprosess. På grunn av faren for alvorlige forbrenninger fra varmt flytende fett skal dette kun beskrives, aldri forsøkes av barn.

> Merknad: **Etter 1861.** Flettede veker (oppfunnet av Cambacérès i 1825) bøyer seg automatisk ut mot flammens varme ytterside der tuppen brenner helt opp i møte med oksygen. Dermed slapp man å «pusse» (klippe av) vekesoten med en lystang under brenningen.

Vi må imidlertid ikke bruke mer tid på den rene fremstillingen, men gå litt dypere inn i saken. Jeg har ennå ikke nevnt for dere luksusgjenstandene blant lys (for det finnes en slik ting som luksus i lys). Se hvor vakkert fargede disse er: Dere ser her mauve, magenta og alle de kjemiske fargene som nylig er blitt innført, anvendt på lys. Dere legger også merke til at ulike former benyttes. Her er en riflet søyle, ytterst vakkert formet; og jeg har også her noen lys sendt meg fra herr Pearsall, som er prydet med mønstre, slik at når de brenner, har dere så å si en glødende sol oventil og en blomsterbukett nedenunder. Men alt som er fint og vakkert, er ikke nødvendigvis nyttig. Disse riflede lysene, pene som de er, er dårlige lys; de er dårlige på grunn av sin ytre form. Likevel viser jeg dere disse prøvene som er sendt meg fra gode venner fra alle kanter, for at dere skal se hva som blir gjort, og hva som kan gjøres i den ene eller andre retning; skjønt, som jeg har sagt, når vi kommer til slike forfininger, er vi nødt til å ofre litt på nytten.

Demonstrasjon F1-D07: Fargede og riflede luksuslys (mauve og magenta)

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «See how beautifully these are coloured: you see here mauve, magenta, and all the chemical colours recently introduced, applied to candles.»

Sikkerhet for barn: Undersøkelse og brenning av riflede og fargede lys for å observere hvordan ujevn form forstyrrer forbrenningen. Skal kun tennes og brennes sammen med en voksen.

> Merknad: **Etter 1861.** Mauve (mauvein, oppdaget av William Perkin i 1856) og magenta (fuksin, 1859) var verdens første syntetiske anilinfargestoffer. De skapte en fargerevolusjon i London rett før Faradays forelesningsrekke.

Nå, hva angår lysets brenning: Vi skal tenne et eller to, og sette dem i gang med å utføre sine rette oppgaver. Dere vil bemerke at et lys er en helt annen ting enn en lampe. Ved en lampe tar man litt olje, fyller beholderen, legger i litt mose eller noe bomull preparert på kunstig vis, og tenner så toppen av veken. Når flammen løper nedover bomullen mot oljen, blir den slukket, men den fortsetter å brenne i den delen som stikker opp. Nå tviler jeg ikke på at dere vil spørre: Hvordan har det seg at oljen, som ikke vil brenne av seg selv, kommer seg opp til toppen av bomullen, der den kan brenne? Det skal vi straks undersøke; men det er en langt mer vidunderlig ting ved et brennende lys enn dette: Dere har her et fast stoff uten noe kar til å romme det; og hvordan har det seg at dette faste stoffet kan komme seg opp til stedet der flammen befinner seg? Hvordan kommer dette faste stoffet dit, all den tid det ikke er flytende? Eller, når det gjøres flytende, hvordan holder det seg da samlet? Dette er en forunderlig ting ved et stearinlys.

Demonstrasjon F1-D08: Lyset tennes for å observere selvbærende brensel

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Now, as to the light of the candle. We will light one or two, and set them at work in the performance of their proper functions.»

Sikkerhet for barn: Et levende stearinlys tennes med fyrstikk. Innebærer åpen flamme og smeltende voks; må alltid gjøres sammen med en voksen i nærheten.

Vi har en hel del trekk her i salen, som vil hjelpe oss i noen av våre illustrasjoner, men ergre oss i andre; for ordens skyld og for å forenkle saken vil jeg derfor skape en rolig flamme — for hvem kan vel studere et emne når det finnes hindringer i veien som ikke hører saken til? Her er en kløktig oppfinnelse gjort av en torghandler eller gateselger på markedsplassen til å skjerme lysene deres på lørdagskveldene, når de selger grønnsaker, poteter eller fisk. Jeg har mang en gang beundret den. De setter et lyktglass rundt lyset, støttet på en slags krage eller holder som griper om det, og som kan skyves opp og ned etter behov. Ved å bruke dette lyktglasset på samme måte får dere en stødig flamme som dere kan betrakte og undersøke nøye, slik jeg håper dere vil gjøre, hjemme.

Demonstrasjon F1-D09: Torghandlerens lyktglass på skyvekrage

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Here is a clever invention of some costermonger or street stander in the market-place for the shading of their candles on Saturday nights»

Sikkerhet for barn: Lyktglasset rundt flammen blir raskt svært varmt og kan gi brannsår eller sprekke ved uforsiktig håndtering. Justering må kun foretas sammen med en voksen.

> Merknad: **Etter 1861.** En «costermonger» var en frukthandler eller gateselger i London som solgte epler (*costard*), kål, rotgrønnsaker og sild fra håndkjerre i gater og markeder.

Dere ser altså, for det første, at det dannes en vakker skål. Når luften strømmer til lyset, beveger den seg oppover ved kraften fra den strømmen som varmen fra lyset skaper, og den kjøler alle sidene av voksen, talgen eller brenselet slik at kanten holdes mye kjøligere enn delen innenfor; delen innenfor smelter av flammen som løper nedover veken så langt den kan nå før den slukkes, men delen på utsiden smelter ikke. Hvis jeg skapte en luftstrøm i én retning, ville skålen min bli skjev, og væsken ville følgelig renne over — for den samme tyngdekraften som holder verdener sammen, holder denne væsken i en vannrett stilling, og dersom skålen ikke er vannrett, vil væsken naturligvis renne bort i renner. Dere ser derfor at skålen dannes av denne vakkert regelmessige oppadstigende luftstrømmen som virker på alle sider, og som holder lysets ytre kjølig. Intet brensel ville duge til et lys dersom det ikke hadde egenskapen til å danne denne skålen, unntatt slikt brensel som den irske myrveden, hvor selve materialet er som en svamp og holder på sitt eget brensel. Dere forstår nå hvorfor dere ville ha fått et så dårlig resultat dersom dere skulle brenne disse vakre lysene jeg har vist dere, som er uregelmessige og oppstykket i fasongen, og som derfor ikke kan få den vakkert formede kanten på skålen, som er den store skjønnheten ved et lys. Jeg håper dere nå innser at en prosess' fullkommenhet — det vil si dens nytteverdi — er det beste skjønnhetspunktet ved den. Det er ikke den tingen som tar seg best ut, men den tingen som virker best, som er til størst gagn for oss. Dette vakre lyset brenner dårlig. Det vil oppstå renner rundt det på grunn av den uregelmessige luftstrømmen og den dårlige skålen som dermed dannes. Dere kan se noen pene eksempler (og jeg stoler på at dere vil legge merke til disse tilfellene) på virkningen av den oppadstigende strømmen når det har rent en liten renne ned langs siden av et lys, slik at det blir tykkere der enn andre steder. Etter hvert som lyset brenner videre, beholder denne rennen sin plass og danner en liten søyle som rager opp ved siden av, for etter som den reiser seg høyere over resten av voksen eller brenselet, slipper luften bedre til rundt den; den blir mer avkjølt og er bedre i stand til å motstå varmens virkning på litt avstand. Nå fører de største feil og mangler ved lys, som ved mange andre ting, ofte med seg lærdom som vi ikke ville ha mottatt dersom de ikke hadde inntruffet. Vi kommer hit for å være filosofer; og jeg håper dere alltid vil huske at når et resultat inntreffer, særlig hvis det er nytt, bør dere si: «Hva er årsaken? Hvorfor skjer det?» — og dere vil med tiden finne ut av grunnen.

Demonstrasjon F1-D10: Skåldannelse ved luftkjøling, skjev skål og renner som danner søyler

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «You see, then, in the first instance, that a beautiful cup is formed.»

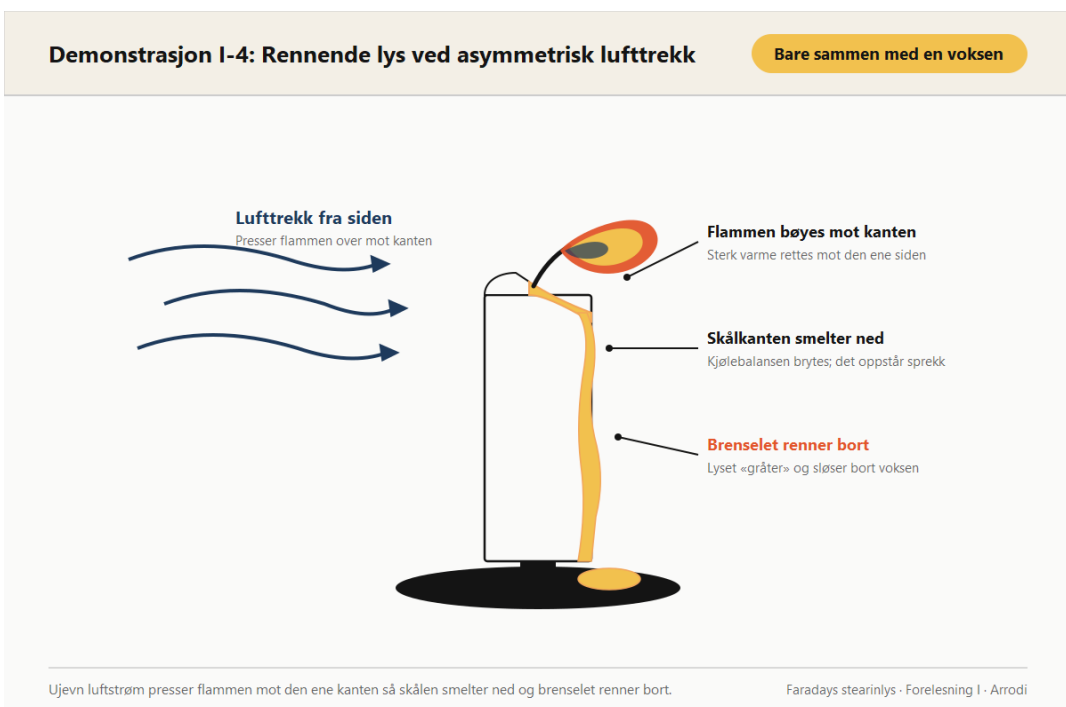
Sikkerhet for barn: Nærobservasjon av åpen flamme og flytende, varm voks i skålen. Hvis lyset renner, er den flytende voksen varm. Må kun gjøres sammen med en voksen.

> Figur: **Figur F1-D10a.** Skåldannelse ved luftkjøling og vekesug.



Figur F1-D10a: Brennende stearinlys med skåldannelse på toppen og vekesug. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Figur: **Figur F1-D10b.** Rennende lys ved asymmetrisk lufttrekk og sprekk i skålkanten.



Figur F1-D10b: Rennende lys ved asymmetrisk lufttrekk og søyledannelse. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Så er det et annet punkt ved disse lysene som vil besvare et spørsmål — nemlig på hvilken måte denne væsken kommer seg ut av skålen, opp i veken og inn til forbrenningsstedet. Dere vet at flammene på disse brennende vekene i lys laget av bivoks, stearin eller spermasett ikke løper ned til voksen eller det øvrige stoffet og smelter alt bort, men holder seg på sin rette plass. De er avgrenset fra væsken under, og trenger seg ikke inn på skålen ved sidene. Jeg kan ikke forestille meg et vakrere eksempel enn den tilstand av likevekt og innbyrdes tilpasning hvorved et lys lar den ene delen tjene den andre helt til dets virke er til ende. En

brennbar gjenstand som dette, som tæres gradvis bort uten noensinne å bli overrumplet av flammen, er et overmåte vakkert syn; særlig når dere får erfare for en kraftfull ting flammen er — hvilken makt den har til å ødelegge selve voksen når den får tak i den, og til å forstyrre dens rette form om den bare kommer for nær.

Demonstrasjon F1-D11: Væskens likevekt i skålen uten invasjon av flammen

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «They are fenced off from the fluid below, and do not encroach on the cup at the sides.»

Sikkerhet for barn: Nærstudie av flammen ved vekebasen på et levende lys. Hold trygg avstand med øyne og hår. Må observeres sammen med en voksen.

Men hvordan får flammen tak i brenselet? Det er et vakkert poeng ved dette — *kapillærtiltrekning* (*capillary attraction*). «Kapillærtiltrekning!» sier dere — «hårrørs-tiltrekning». Vel, bry dere ikke om navnet; det ble gitt i gamle dager, før vi hadde god forståelse av hva den virkelige kraften var. Det er ved det som kalles kapillærtiltrekning at brenselet føres fram til den delen hvor forbrenningen foregår, og avsettes der, ikke på måfå, men på overmåte vakkert vis midt i sentrum for den virksomheten som utspiller seg rundt det. Nå skal jeg gi dere et eller to eksempler på kapillærtiltrekning. Det er det slaget virkning eller tiltrekning som gjør at to ting som ikke løser seg opp i hverandre, likevel holder sammen. Når dere vasker hendene, fukter dere dem grundig; dere tar litt såpe for å gjøre vedhengskraften bedre, og dere oppdager at hånden forblir våt. Dette skyldes det slaget tiltrekning som jeg her taler om. Og hva mer er: Dersom hendene deres ikke er skitne (slik de nesten alltid er av dagliglivets vaner), og dere stikker fingeren ned i litt lunkent vann, vil vannet krype et lite stykke oppover fingeren, skjønt dere kanskje ikke stanser for å granske det. Jeg har her et stoff som er temmelig porøst — en søyle av salt — og jeg vil helle på fatet i bunnen, ikke vann, slik det ser ut som, men en mettet saltoppløsning som ikke kan ta opp mer; slik at den virkningen dere ser, ikke vil skyldes at det løser opp noe som helst. Vi kan betrakte fatet som lyset, saltet som veken, og denne oppløsningen som den smeltede talgen. (Jeg har farget væsken for at dere skal se virkningen bedre.) Dere legger merke til at idet jeg heller væsken i, stiger den og kryper gradvis oppover i saltet, høyere og høyere; og forutsatt at søylen ikke velter overende, vil den nå helt til topps.

Demonstrasjon F1-D12: Kapillærsug i saltstøtte som modell for vekesug i lys

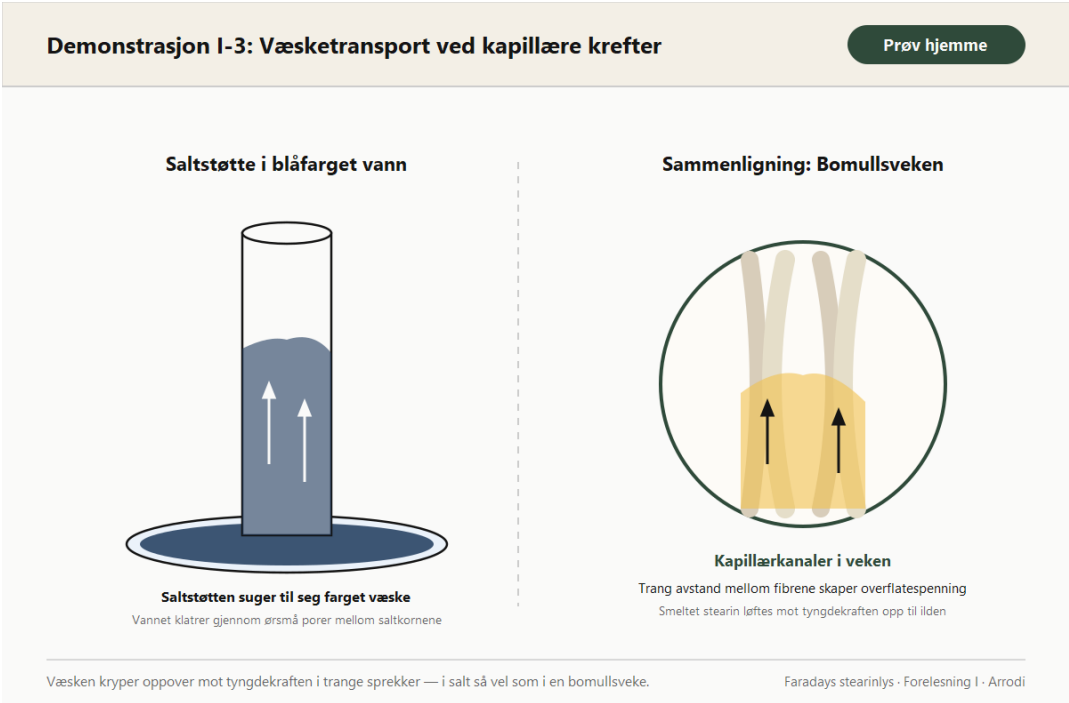
[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «I have here a substance which is rather porous--a column of salt--and I will pour into the plate at the bottom, not water, as it appears, but a saturated solution of salt»

Sikkerhet for barn: Saltstøtten og det blå saltvannet illustrerer hvordan flytende brensel transporteres til en brennende veke. Skal utføres sammen med en voksen ved siden av et brennende lys for direkte sammenligning.

> Merknad: **Etter 1861.** Ordet «kapillær» stammer fra det latinske *capillus* (hår), fordi de tidlige fysikerne studerte væskestigning i glassrør like tynne som hårstrå. I dag forklares kapillærkrefter ved molekylære krefter: adhesjon mellom væskemolekylene og den faste overflaten, kombinert med kohesjon og overflatespenning i væsken.

> Figur: **Figur F1-D12.** Væsketransport ved kapillære krefter (saltstøtte i blått saltvann).



Figur F1-D12 (Fig. 1): En søyle av salt på et fat der farget saltoppløsning suges oppover ved kapillærvirkning som modell for vekesug. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Dersom denne blå oppløsningen var brennbar, og vi satte en veke på toppen av saltet, ville den brenne idet væsken steg inn i veken. Det er høyst merkverdig å se denne formen for virkning finne sted, og å legge merke til hvor besynderlige noen av omstendighetene rundt den er. Når dere vasker hendene, tar dere et håndkle for å tørke bort vannet; og det er ved denne formen for fukting, eller denne formen for tiltrekning som gjør håndkleet vått av vann, at veken blir våt av talgen. Jeg har kjent noen uforsiktige gutter og jenter (ja, jeg har saktens opplevd at det har hendt forsiktige folk også) som etter å ha vasket hendene og tørket dem på et håndkle, har kastet håndkleet over kanten av vaskevannsfatet, og før det har gått lang tid, har det trukket alt vannet ut av fatet og ført det ned på gulvet, fordi det tilfeldigvis ble hengende over kanten på en slik måte at det virket som en hevert. For at dere bedre skal se på hvilken måte stoffene virker inn på hverandre, har jeg her en beholder laget av metallnetting (*wire gauze*) fylt med vann, og dere kan i én henseende sammenligne dens virkning med bomull, eller i en annen med et stykke kaliko (bomullslerret). Veker lages faktisk noen ganger av en slags metallnetting. Dere vil bemerke at denne beholderen er en porøs ting; for dersom jeg heller litt vann på toppen, vil det renne ut i bunnen. Dere ville gruble lenge dersom jeg spurte dere hva denne beholderens tilstand er, hva som er inni den, og hvorfor det er der? Beholderen er full av vann, og likevel ser dere at vannet går inn og renner ut som om den var tom. For å bevise dette for dere behøver jeg bare å tømme den. Årsaken er denne: Når metalltråden først er blitt fuktet, forblir den våt; maskene er så små at væsken tiltrekkes så sterkt fra den ene siden til den andre at den forblir i beholderen skjønt den er porøs. På samme måte stiger partiklene av smeltet talg opp i bomullen og når toppen; andre partikler følger deretter etter ved sin gjensidige tiltrekning til hverandre, og idet de når flammen, forbrennes de litt etter litt.

Demonstrasjon F1-D13: Håndkle over vaskevannsfatet som hevert

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «thrown the towel over the side of the basin, and before long it has drawn all the water out of the basin and conveyed it to the floor»

Sikkerhet for barn: Viser hvordan bomullsfibre trekker væske opp og over en kant som en hevert. Utføres sammen med en voksen for å sammenligne med transporten av varm, smeltet talg i lysveken.

Demonstrasjon F1-D14: Metallnettingkar som holder vann ved overflatespenning

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «I have here a vessel made of wire gauze filled with water, and you may compare it in its action to the cotton»

Sikkerhet for barn: Viser hvordan metallnetting holder på væske og fungerer som forbrenningsveke. Undersøkes sammen med en voksen som demonstrasjon av kapillærkrefter i brennere.

Her er en annen anvendelse av det samme prinsippet. Dere ser denne biten av et spanskrør (*cane*). Jeg har sett gutter i gatene, som er svært ivrige etter å fremstå som voksne karer, ta en bit spanskrør, tenne den og røyke den som en etterligning av en sigar. De er i stand til å gjøre det takket være rørets gjennomtrengelighet i lengderetningen og dets kapillærvirkning. Dersom jeg plasserer denne spanskrørbiten på et fat som inneholder litt kamfen (som i sine allmenne egenskaper ligner mye på parafin), vil denne væsken stige opp gjennom spanskrøret på nøyaktig samme vis som den blå væsken steg gjennom saltet. Da det ikke finnes porer i sidene, kan væsken ikke gå i den retningen, men må passere i hele rørets lengde. Væsken er allerede nådd opp til toppen av spanskrøret: Nå kan jeg tenne den og la den tjene som et lys. Væsken har steget ved spanskrørets kapillære tiltrekning, akkurat slik den gjør gjennom bomullen i lyset.

Demonstrasjon F1-D15: Spanskrør i kamfen som brennende lys

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If I place this piece of cane on a plate containing some camphine»

Sikkerhet for barn: Kamfen (renset terpentinolje) er en flyktig, lettantennelig væske med helsefarlige damper. Brenning av kjemikalier og brennbare væsker er strengt forbudt for barn og skal aldri forsøkes hjemme. Gjengis her utelukkende som historisk observasjon av Faradays forelesning.

> Merknad: **Etter 1861.** «Kamfen» (*camphine*) var et 1800-talls handelsnavn for renset terpentinolje fra furu, ofte blandet med alkohol. Damper fra terpentin danner brannfarlige blandinger med luft. Forsøket er derfor merket med *Se, ikke prøv* og gjengis utelukkende som historisk observasjon.

Nå er den eneste grunnen til at lyset ikke brenner nedover langs hele siden av veken, at den smeltede talgen kveler flammen. Dere vet at et lys, dersom det snus opp-ned slik at brenselet tillates å renne ned over veken, vil bli slukket. Årsaken er at flammen ikke har fått tid til å gjøre brenselet hett nok til å brenne, slik den gjør oventil, hvor det føres fram i ørsmå mengder inn i veken og nyter godt av all varmens virkning som utøves på det.

Demonstrasjon F1-D16: Lyset snudd opp ned slukkes av overflødig brensel

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «You know that a candle, if turned upside-down, so as to allow the fuel to run upon the wick, will be put out.»

Sikkerhet for barn: Å snu et brennende lys opp ned gjør at varm flytende voks renner raskt og kan dryppe på hender eller bord. Må alltid utføres sammen med en voksen over et brannsikkert underlag.

> Figur: **Figur F1-D16.** Brennende lys snudd opp ned slukkes av overflødig brensel.



Figur F1-D16: Brennende lys snudd opp ned slukkes av overflødig brensel. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Det er en annen tilstand dere må lære om hva lyset angår, og uten den ville dere ikke være i stand til fullt ut å forstå filosofien bak det — og det er brenselets damptilstand. For at dere skal forstå dette, la meg vise dere et svært pent, men høyst hverdagslig eksperiment. Dersom dere blåser ut et lys på en behendig måte, vil dere se dampen stige opp fra det. Dere har, det vet jeg, ofte kjent lukten av dampen fra et utblåst lys — og en svært fæl lukt er det; men hvis dere blåser det ut på kyndig vis, vil dere ganske tydelig kunne se dampen som dette faste stoffet forvandles til. Jeg skal blåse ut et av disse lysene på en slik måte at jeg ikke forstyrrer luften omkring med pusten min; og nå, hvis jeg holder en tent vokstikke to eller tre tommer fra veken, vil dere legge merke til et ildtog som farer gjennom luften inntil det når fram til lyset. Jeg er nødt til å være rask og oppmerksom, for dersom jeg gir dampen tid til å kjøles ned, fortættes den til en væske eller et fast stoff, eller strømmen av brennbart stoff blir forstyrret.

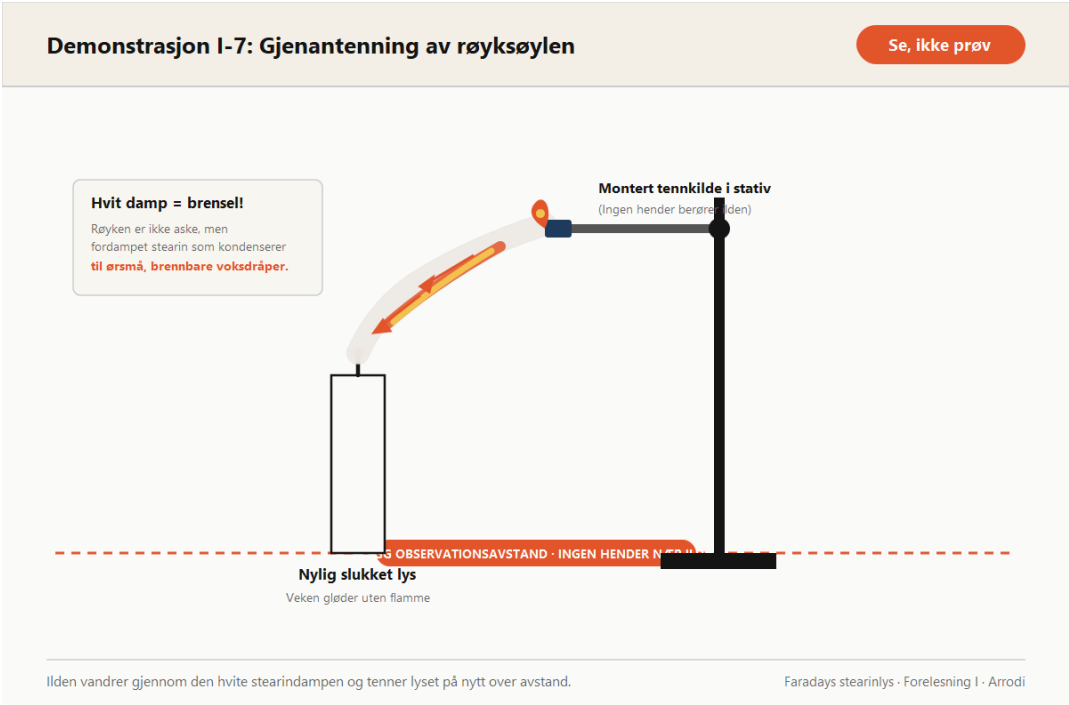
Demonstrasjon F1-D17: Gjenantenning av dampsøyle etter slukking

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «if I hold a lighted taper two or three inches from the wick, you will observe a train of fire going through the air till it reaches the candle»

Sikkerhet for barn: Faraday demonstrerer antenning av gass og damp i fri luft med tilbakeslag av flamme. Åpen forbrenning av damp og gass medfører stor fare for at flammen hopper ukontrollert eller antenner nærliggende gjenstander. Forsøket skal utelukkende beskrives som en demonstrasjon fra forelesningssalen og må aldri utføres av barn hjemme.

Figur: **Figur F1-D17.** Gjenantenning av dampsøyle etter slukking.



Figur F1-D17: Gjenantenning av dampsøyle etter slukking. Sikkerhetsmerke: Se, ikke prøv.

Merknad: **Etter 1861.** Når et stearinlys slukkes, er veken og den flytende voksen fortsatt varm nok til å fordampe tunge hydrokarboner. Den hvite «røyken» er en aerosol av ørsmå kondenserte voksdrypp og brennbare hydrokarbongasser. Disse kan antennes i luften 5–7 centimeter fra veken slik at en forbrenningsbølge forplanter seg tilbake langs dampstrømmen og tenner veken på ny.

Nå, hva angår flammens fasong eller form: Det er av stor betydning for oss å kjenne til den tilstanden som lysets stoff til slutt inntar på toppen av veken — der dere ser en slik skjønnhet og lysstyrke som ingenting annet enn forbrenning eller flamme kan frembringe.

Dere har gull og sølvs glitrende skjønnhet, og edelsteners enda høyere glans, slik som rubinens og diamantens; men ingen av disse kan måle seg med flammens lyskraft og skjønnhet. Hvilken diamant kan vel skinne som en flamme? Om natten skylder den sin glans nettopp flammen som skinner på den! Flammen skinner i mørket, men lyset som diamanten har, er som ingenting før flammen kaster sitt lys over den, hvorpå den atter funkler. Lyset alene skinner av seg selv og for seg selv, eller for dem som har innrettet dets materialer. La oss nå se litt på flammens form slik dere ser den under glassklokken. Den er stødig og jevn; og dens allmenne form er den som fremstilles i diagrammet, idet den varierer med forstyrrelser i luften, og likeledes varierer etter lysets størrelse. Den er en lysende avlang form — lysere øverst enn mot bunnen — med veken i midten, og foruten veken i midten visse mørkere partier mot bunnen, hvor antennelsen ikke er så fullkommen som i delen ovenfor.

Demonstrasjon F1-D18: Lysflamme under glassklokke

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Now, let us look a little at the form of the flame as you see it under the glass shade.»

Sikkerhet for barn: Nærstudie av en lysflamme skjermet under en glassklokke eller et lyktglass. Glasset blir raskt svært varmt under brenningen; må kun håndteres sammen med en voksen.

Merknad: **Etter 1861.** En lysflamme deles i dag inn i tre hovedsoner: Den mørke indre kjernen rett over veken der fast voks fordamper uten oksygentilgang; den blåaktige basen der hydrokarboner brytes ned og sender ut lys ved kjemoluminesens fra CH- og C■-radikaler; og den lysende gule hovedflammen der glødende karbonpartikler (sot) på 1200–1400 °C sender ut termisk sortlegemestråling.

Jeg har en tegning her, skissert for mange år siden av Hooke da han utførte sine undersøkelser. Det er tegningen av flammen til en lampe, men den passer like godt på flammen til et lys. Skålen på lyset er beholderen eller lampen, den smeltede spermasetten er oljen, og veken er felles for begge. Oppå dette setter han denne lille flammen, og deretter gjengir han det som er sant — en viss mengde stoff som stiger opp omkring den som dere ikke ser, og som dere, dersom dere ikke har vært her før eller ikke er fortrolige med emnet, ikke vil kjenne til. Han har her gjengitt de delene av den omgivende atmosfæren som er helt vesentlige for flammen, og som alltid er til stede sammen med den. Det dannes en strøm som trekker flammen ut — for flammen dere ser, trekkes i virkeligheten ut av denne strømmen og løftes oppover til en anselig høyde — akkurat slik Hooke her har vist dere ved denne forlengelsen av strømmen i diagrammet. Dere kan se dette ved å ta et tent lys og sette det i sollyset slik at skyggen kastes på et ark papir. Hvor merkverdig er det ikke at denne tingen som er lyssterk nok til å kaste skygger av andre gjenstander, kan bringes til å kaste sin egen skygge på et hvitt papirark eller en papplate, slik at dere faktisk kan se strømme omkring flammen noe som ikke er en del av flammen, men som stiger opp og trekker flammen oppover. Nå skal jeg imitere sollyset ved å koble det galvaniske batteriet til den elektriske lampen. Dere ser nå vår sol og dens veldige lyskraft; og ved å plassere et lys mellom den og lerretet, får vi flammens skygge.

Demonstrasjon F1-D19: Flammens skygge i naturlig sollys på papir

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «taking a lighted candle, and putting it in the sun so as to get its shadow thrown on a piece of paper»

Sikkerhet for barn: Et tent lys holdes i direkte sollys for å kaste skygge av den varme luften på et papirark. Innebærer åpen flamme nær papir; må alltid utføres sammen med en voksen og med trygg avstand mellom flamme og papir.

Demonstrasjon F1-D20: Flammens skygge projisert med elektrisk kullbuelampe

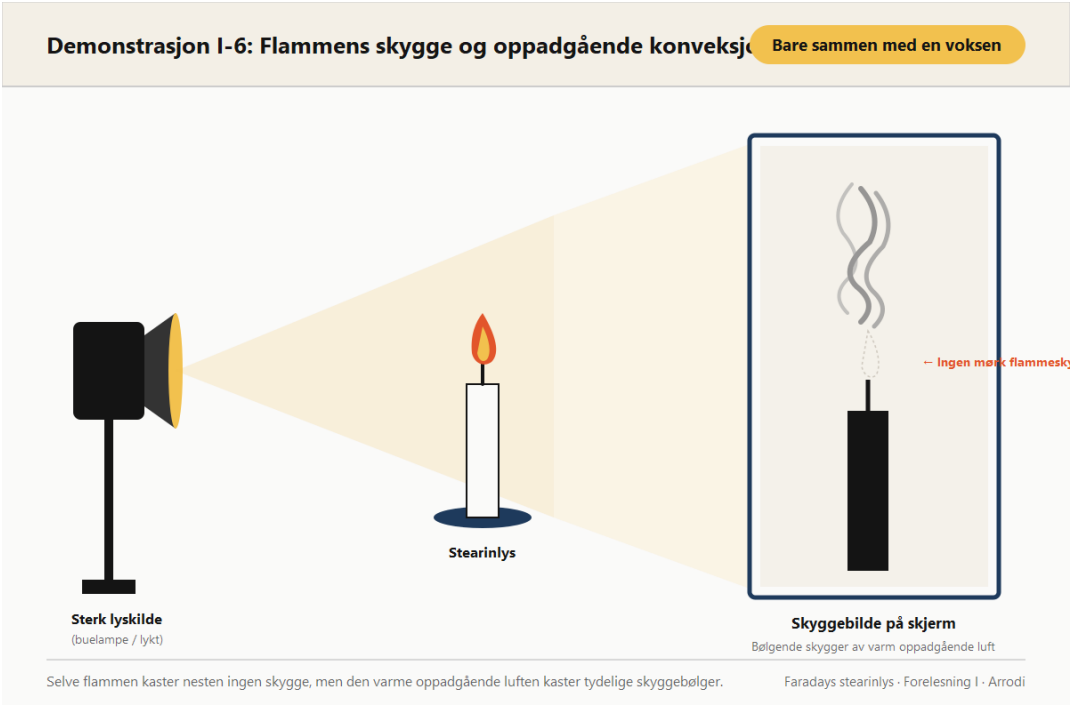
[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Now, I am going to imitate the sunlight, by applying the voltaic battery to the electric lamp.»

Sikkerhet for barn: Faraday bruker en kraftig elektrisk kullbuelampe drevet av en galvanisk batteribank til å projisere skyggen. Buelamper avgir blendende lys, skadelig ultrafiolett stråling og sterk varme fra elektriske lysbuer. Dette er rent laboratorieutstyr og skal aldri etterlignes hjemme; gjengis kun som historisk observasjon.

> Merknad: **Etter 1861.** Robert Hooke publiserte sitt banebrytende diagram over flammer og luftstrømmer i verket *Micrographia* (1665). Den elektriske kullbuelampen som Faraday benytter som kunstig sol, ble oppfunnet av Humphry Davy i 1800-årenes første tiår og var den sterkeste kunstige lyskilden på 1800-tallet.

> Figur: **Figur F1-D19/D21.** Flammens skygge og oppadgående luftstrøm (konveksjon).



Figur F1-D19/D21 (Fig. 4): Flammens skygge og oppadgående luftstrøm (konveksjon) projisert på lerret. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Dere legger merke til skyggen av lyset og av veken; deretter er det et mørkt parti, slik det er gjengitt i diagrammet, og deretter en del som er mer distinkt. Merkelig nok er det likevel slik at det vi ser i skyggen som flammens mørkeste del, i realiteten er den lyseste delen; og her ser dere strømme oppover den oppadstigende strømmen av varm luft, slik Hooke viste, som trekker flammen ut, forsyner den med luft og avkjøler sidene på skålen med smeltet brensel.

Demonstrasjon F1-D21: Observasjon av flammeskyggen på lerretet

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «what we see in the shadow as the darkest part of the flame is, in reality, the brightest part»

Sikkerhet for barn: Observasjon av lysbueprojeksjonen fra forelesningssalen. Viser hvordan glødende sotpartikler i flammens lysende kjerne absorberer lys fra buelampen og kaster en markant mørk skygge på lerretet. Kun observasjon av forsøket.

Merknad: **Etter 1861.** At flammens lyseste del kaster den mørkeste skyggen, skyldes at den lysende sonen inneholder en tett sky av glødende karbonpartikler (nanopartikler av sot) som absorberer og sprer det innfallende lyset. De flimrende skyggelinjene rundt flammen skyldes schlieren-effekt — lysbrytning i luftlag med ulik tetthet forårsaket av varme konveksjonsstrømmer.

Jeg kan gi dere her en liten videre illustrasjon, med den hensikt å vise dere hvordan en flamme går opp eller ned, alt etter luftstrømmen. Jeg har her en flamme — det er ikke en lysflamme — men dere er uten tvil nå i stand til å generalisere tilstrekkelig til å sammenligne den ene tingen med den andre. Hva jeg nå har til hensikt å gjøre, er å forvandle den oppadstigende strømmen som bærer flammen oppover, til en nedadgående strøm. Dette kan jeg lett gjøre ved hjelp av det lille apparatet dere ser foran meg. Flammen er som sagt ikke en lysflamme, men frembringes av alkohol, slik at den ikke skal sote for mye. Jeg vil også farge flammen med et annet stoff, slik at dere skal kunne følge dens bane; for med sprit alene ville dere knapt kunne se godt nok til å få anledning til å spore dens retning. Ved å tenne denne vinstenen har vi frembrakt en flamme; og dere legger merke til at når den holdes i luften, går den naturligvis oppover.

Demonstrasjon F1-D22: Farget spritflamme i luftstrøm

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «The flame, as I have said, is not a candle flame, but it is produced by alcohol, so that it shall not smoke too much.»

Sikkerhet for barn: Faraday bruker brennende alkohol (sprit) tilsatt kjemiske salter for farging. Åpen forbrenning av sprit og kjemikalier kan forårsake eksplosjonsartet antenning eller alvorlige brannskader. Dette er strengt forbudt for barn og skal aldri forsøkes hjemme; forsøket er utelukkende en historisk beskrivelse fra forelesningssalen.

> Merknad: **Etter 1861.** Faraday tilsatte mineralsalter (som kobberklorid eller strontiumsalter) for å farge alkoholflammen. I dag er dette kjent som flammeemisjonsspektroskopi (flammetest), der metallatomer eksiteres termisk og sender ut lys ved karakteristiske bølgelengder.

Dere forstår nå lett nok hvorfor flammer stiger oppover under vanlige omstendigheter — det er på grunn av lufttrekket som forbrenningen skaper. Men nå, ved å blåse flammen ned, ser dere at jeg settes i stand til å få den til å gå nedover inn i denne lille skorsteinen — idet strømmens retning er blitt endret. Før vi har fullført denne forelesningsrekken, skal vi vise dere en lampe hvor flammen går opp og røyken går ned, eller flammen går ned og røyken går opp. Dere ser altså at vi på denne måten har makt til å styre flammen i ulike retninger.

Demonstrasjon F1-D23: Flamme suget nedover i liten skorstein ved lufttrekk

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «now, by blowing the flame down, you see I am enabled to make it go downwards into this little chimney»

Sikkerhet for barn: Å tvinge en åpen flamme nedover i et rør med kunstig lufttrekk innebærer fare for overoppheting av apparatet og ukontrollert flammespredning. Skal aldri forsøkes hjemme; kun en historisk illustrasjon av hvordan luftstrømmer styrer flammens retning.

> Merknad: **Etter 1861.** Under jordens tyngdekraft oppstår oppdrift fordi varm forbrenningsgass er lettere enn kald omgivende luft. Dermed peker en flamme alltid oppover under naturlig konveksjon. Ved hjelp av mekanisk undertrekk eller kunstig sug kan man overvinne oppdriften og tvinge forbrenningsgassene nedover.

Det er nå noen andre punkter jeg må legge fram for dere. Mange av flammene dere ser her, varierer sterkt i fasong etter luftstrømmene som blåser rundt dem fra ulike kanter; men vi kan, om vi vil, innrette flammene slik at de ser ut som faste gjenstander, og vi kan fotografere dem — ja, vi er nødt til å fotografere dem — så de fastholdes for oss, dersom vi ønsker å finne ut alt som angår dem. Det er likevel ikke det eneste jeg ønsker å nevne. Dersom jeg tar en tilstrekkelig stor flamme, beholder den ikke den ensartede, den jevne formtilstanden, men den bryter ut med en livskraft som er aldeles vidunderlig. Jeg skal benytte et annet slag brensel, men et som i sannhet er en fullgod representant for et stearinlys' voks eller talg. Jeg har her en stor bomullsball som vil tjene som veke. Og nå som jeg har dynket den i sprit og satt fyr på den, på hvilken måte skiller den seg fra et vanlig lys? Jo, den skiller seg i sannhet svært mye i én henseende — at vi har en livaktighet og kraft ved den, en skjønnhet og et liv som er fullstendig annerledes enn lyset fra et stearinlys. Dere ser disse fine flammetungene som reiser seg opp. Dere har den samme allmenne fordelingen av flammemassen nedenfra og oppover; men i tillegg har dere dette bemerkelsesverdige utbruddet i tunger som dere ikke ser ved et stearinlys. Hvorfor er det slik? Jeg må forklare det for dere, for når dere forstår dette fullt ut, vil dere bedre kunne følge meg i det jeg har å si heretter. Jeg formoder at enkelte her selv har utført det eksperimentet jeg nå skal vise dere. Har jeg rett i å anta at noen her har lekt selskapsleken *snapdragon*? Jeg kjenner ingen vakrere illustrasjon på flammens filosofi, hva en viss del av dens historie angår, enn leken snapdragon. Først har vi fatet; og la meg si at når man leker snapdragon på rett vis, bør fatet være godt oppvarmet; man bør også ha varme rosiner og varm brandy, hvilket jeg imidlertid ikke har. Når dere har slått spriten over i fatet, har dere skålen og brenselet; og virker ikke rosinene akkurat som veker? Jeg kaster nå rosinene oppi fatet og tenner på spriten, og dere ser disse vakre flammetungene som jeg siktet til. Dere har luften som kryper inn over kanten av fatet og danner disse tungene. Hvorfor? Fordi den, på grunn av strømmens kraft og uregelmessigheten i flammens virke, ikke kan strømme i en jevn, ensartet strøm. Luften strømmer så uregelmessig inn at det som ellers ville ha vært et enkelt flammebilde, splittes opp i en mengde ulike former, og hver av disse små tungene har en selvstendig tilværelse for seg selv. Faktisk vil jeg kunne si at dere her har en mengde uavhengige lys. Dere må ikke forestille dere, fordi dere ser disse tungene alle på én gang, at flammen virkelig har denne formen. En flamme med en slik fasong er aldri slik i ett enkelt øyeblikk. Aldri har en flammemasse, slik som den dere nettopp så reise seg fra bomullsballen, den formen den ser ut til å ha for dere. Den består av en

mengde ulike fasonger som følger etter hverandre så hurtig at øyet bare makter å oppfatte dem samlet på én gang. I tidligere tider analyserte jeg med hensikt en flamme av dette allmenne slaget, og diagrammet viser dere de ulike delene den er sammensatt av. De inntreffer ikke alle samtidig: Det er bare fordi vi ser disse fasongene i så rask rekkefølge at de for oss synes å eksistere alle på én gang.

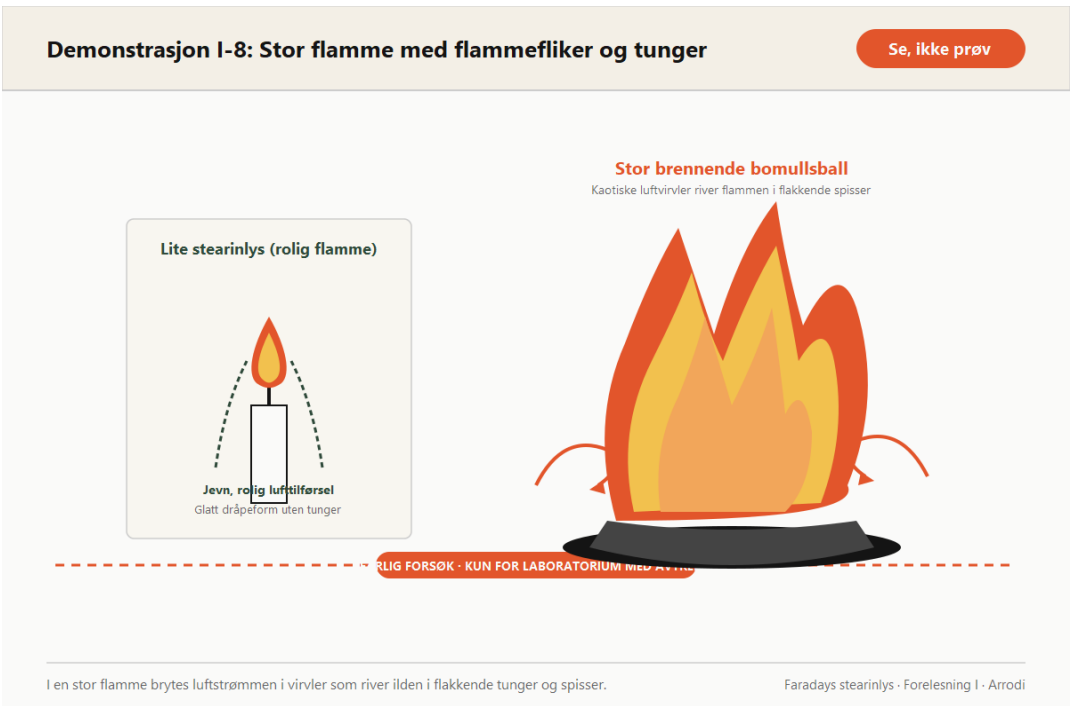
Demonstrasjon F1-D24: Stor flamme fra spritdynket bomullsball

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here a large ball of cotton, which will serve as a wick. And, now that I have immersed it in spirit and applied a light to it»

Sikkerhet for barn: Stor åpen flamme fra spritdynket bomull. Alkoholbrann gir intens varme, flakkende flammetunger og stor fare for brannskader eller brannspredning. Skal aldri forsøkes av barn; kun til historisk observasjon av flammestruktur.

Figur: **Figur F1-D24.** Stor flamme med flammefliker og tunger (brennende bomullsball).



Figur F1-D24: Stor flamme med flammefliker og tunger (brennende bomullsball). Sikkerhetsmerke: Se, ikke prøv.

Demonstrasjon F1-D25: Selskapsleken snapdragon (rosiner i brennende brennevin)

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I now throw the plums into the dish, and light the spirit, and you see those beautiful tongues of flame that I refer to.»

Sikkerhet for barn: Oppvarmet brennevin i skål satt i brann for å gripe rosiner (den viktorianske selskapsleken snapdragon). Åpen væskebrann og brennende alkoholholdig væske medfører overhengende fare for alvorlige brannskader og brann. Leken er livsfarlig og strengt forbudt for barn å prøve hjemme; den beskrives her utelukkende som Faradays historiske bilde på uregelmessige luftstrømmer og turbulens.

> Merknad: **Etter 1861.** Snapdragon var en populær viktoriansk selskapslek i julen der rosiner ble lagt i et fat med oppvarmet konjakk eller brandy og tent på. Deltakerne skulle raskt snappe brennende rosiner opp av spriten med fingrene og sluke dem. Leken forårsaket hyppige brannskader og regnes i dag som fullstendig uforsvarlig. Flammetungene skyldes hydrodynamisk turbulens (Rayleigh-Taylor- og Kelvin-Helmholtz-instabiliteter) der oppdriften fra varme gasser mot kjølig luft skaper oscillerende virvler (flimring) med en typisk frekvens på 10–15 Hz.

Det er altfor galt at vi ikke er kommet lenger enn til min lek med snapdragon; men vi må under ingen omstendigheter holde dere utover tiden. Det skal være en lærepenge for meg for fremtiden å holde dere strengere til selve filosofien i saken, heller enn å ta opp tiden deres så mye med disse illustrasjonene.

Demonstrasjonsoversikt for Forelesning I

Her er en samlet oversikt over alle 25 demonstrasjoner i Forelesning I, med sikkerhetsmerke, figur og kildeavsnitt.

ID	Demonstrasjon	Sikkerhetsmerke	Figur	Kildeavsnitt
F1-D01	Myrved som naturlig lyskilde	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 3
F1-D02	Dyppetalglys og gruvelys	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 4
F1-D03	Royal George-lys	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 4
F1-D04	Gay-Lussacs stearinprosess	Se, ikke prøv	(ingen)	Avsnitt 5
F1-D05	Prøver av råstoffer fra Mr. Field	Se, ikke prøv	Figur F1-D05	Avsnitt 5
F1-D06	Talglysstøping og vokslysrulling	Se, ikke prøv	(ingen)	Avsnitt 6
F1-D07	Fargede og riflede luksuslys	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 7
F1-D08	Lyset tennes for brenselobservasjon	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 8
F1-D09	Torghandlerens lyktglass	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 9
F1-D10	Skåldannelse, renner og søyler	Bare sammen med en voksen	Figur F1-D10a/b	Avsnitt 10
F1-D11	Væskens likevekt i skålen	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 11
F1-D12	Saltstøtte i blått saltvann	Bare sammen med en voksen	Figur F1-D12	Avsnitt 12
F1-D13	Håndklehevert over vaskevannsfat	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 14
F1-D14	Metallnettingkar med vann	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 14
F1-D15	Spanskrør i kamfen	Se, ikke prøv	(ingen)	Avsnitt 15
F1-D16	Opp ned-lys slukkes	Bare sammen med en voksen	Figur F1-D16	Avsnitt 16
F1-D17	Gjenantenning av dampsøyle	Se, ikke prøv	Figur F1-D17	Avsnitt 17

F1-D18	Lysflamme under glassklokke	Bare sammen med en voksen	(ingen)	Avsnitt 20
F1-D19	Sollysskygge på papir	Bare sammen med en voksen	Figur F1-D19/D21	Avsnitt 22
F1-D20	Projeksjon med kullbuelampe	Se, ikke prøv	(ingen)	Avsnitt 22
F1-D21	Observasjon av flammeskyggen	Se, ikke prøv	Figur F1-D19/D21	Avsnitt 24
F1-D22	Farget spritflamme i luftstrøm	Se, ikke prøv	(ingen)	Avsnitt 25
F1-D23	Flamme suget ned i skorstein	Se, ikke prøv	(ingen)	Avsnitt 27
F1-D24	Stor flamme fra bomullsball	Se, ikke prøv	Figur F1-D24	Avsnitt 28
F1-D25	Selskapsleken snapdragon	Se, ikke prøv	(ingen)	Avsnitt 28



Forelesning II: Et lys — Flammens lysstyrke, luft nødvendig for forbrenningen, frembringelse av vann

Forrige gang vi møttes var vi opptatt med å betrakte den allmenne karakter og innretning hva angår den flytende delen av et lys, og måten denne væsken kom seg inn til forbrenningsstedet på. Dere ser at når vi har et lys som brenner jevnt og vakkert i en rolig, stabil atmosfære, vil det ha en fasong som ligner omtrent på den som er vist i diagrammet, og det vil se temmelig ensartet ut, skjønt det er høyst besynderlig i sitt vesen. Og nå må jeg be om deres oppmerksomhet om de midler som setter oss i stand til å bringe på det rene hva som foregår i enhver bestemt del av flammen — hvorfor det skjer, hva det utretter idet det skjer, og hvor til syvende og sist hele lyset blir av: for, som dere vet så altfor vel, når et lys bringes fram for oss og brennes, forsvinner det, dersom det brennes på rette vis, uten det minste spor av urenhet i lysestaken — og dette er et høyst merkverdig forhold. For å undersøke dette lyset nøyaktig, har jeg derfor stilt opp visse apparater, hvis bruk dere vil få se etter hvert som jeg går videre. Her er et lys: Jeg har til hensikt å føre enden av dette glassrøret inn i midten av flammen — inn i den delen som gamle Hooke har fremstilt i diagrammet som nokså mørk, og som dere når som helst kan se dersom dere betrakter et lys nøye, uten å blåse på det. Vi skal undersøke denne mørke delen først.

> Merknad: **Etter 1861.** Robert Hooke beskrev flammens soner i sitt banebrytende verk *Micrographia* allerede i 1665. Den mørke sonen innerst ved veken består av hydrokarbongasser som har fordampet fra den flytende voksen, men som ennå ikke har reagert med oksygen fordi luften ikke slipper inn dit.

Nå tar jeg dette bøyde glassrøret, og fører den ene enden inn i denne delen av flammen, og dere ser straks at det kommer noe ut av flammen, ut i den andre enden av røret; og dersom jeg setter en kolbe der og lar den stå en liten stund, vil dere se at noe fra midtpartiet av flammen gradvis trekkes ut og går gjennom røret og inn i denne kolben, og der oppfører det seg ganske annerledes enn det gjør i fri luft. Det slipper ikke bare ut fra enden av røret, men faller til bunns i kolben som et tungt stoff, noe det i sannhet også er. Vi oppdager at dette er lysets voks omdannet til en dampaktig væske — ikke en gass. (Dere må lære dere forskjellen mellom en gass og en damp: En gass forblir varig, en damp er noe som vil kondensere.) Blåser dere ut et lys, kjenner dere en svært ubehagelig lukt som skyldes kondensasjonen av denne dampen. Det er helt annerledes enn det dere har utenfor flammen; og for å gjøre dette tydeligere for dere, skal jeg frembringe og sette fyr på en større mengde av denne dampen — for hva vi har i det små i et lys, må vi som filosofer, for å forstå det til bunns, frembringe i større målestokk dersom det er nødvendig, slik at vi kan undersøke de ulike delene. Og nå vil herr Anderson gi meg en varmekilde, og jeg skal vise dere hva denne dampen er. Her er litt voks i en glasskolbe, og jeg skal gjøre den varm, slik det indre av denne lysflammen er varmt, og stoffet omkring veken er varmt. [Foreleseren plasserte litt voks i en glasskolbe og varmet den over en lampe.] Nå tør jeg si at dette er varmt nok for meg. Dere ser at voksen jeg la oppi er blitt flytende, og det stiger en smule røyk opp fra den. Vi vil snart få dampen stigende opp. Jeg vil gjøre den enda varmere, og nå får vi mer av den, slik at jeg faktisk kan helle dampen ut av kolben og ned i denne skålen, og sette fyr på den der. Dette er altså nøyaktig samme slags damp som vi har i midten av lyset; og for at dere skal være forvisset om at dette er tilfelle, la oss prøve om vi ikke her i denne kolben har fått en ekte brennbar damp ut fra midten av lyset. [Tar kolben som røret fra lyset førte inn i, og fører en tent vokstikke ned i den.] Se hvordan det brenner. Dette er altså dampen fra midten av lyset, frembrakt ved dets egen varme; og det er en av de første tingene dere må ta i betraktning hva angår voksens videre skjebne under forbrenningens forløp, og med hensyn til de forvandlingene den gjennomgår. Jeg skal anbringe et annet rør omhyggelig i flammen, og det ville ikke forundre meg om vi ved en smule varsomhet var i stand til å få denne dampen til å passere gjennom røret til den andre ytterenden, hvor vi vil tenne den, og oppnå vitterlig lysets flamme på et sted fjernt fra selve lyset. Se nå på det. Er ikke det et overmåte vakkert forsøk? Man snakker om å legge inn gass — hvorfor, vi kan jo sannelig legge inn et lys! Og dere ser av dette at det opplagt er to ulike slag virkninger — den ene er frembringelsen av dampen, og den andre er forbrenningen av den — som begge finner sted i særskilte deler av lyset.

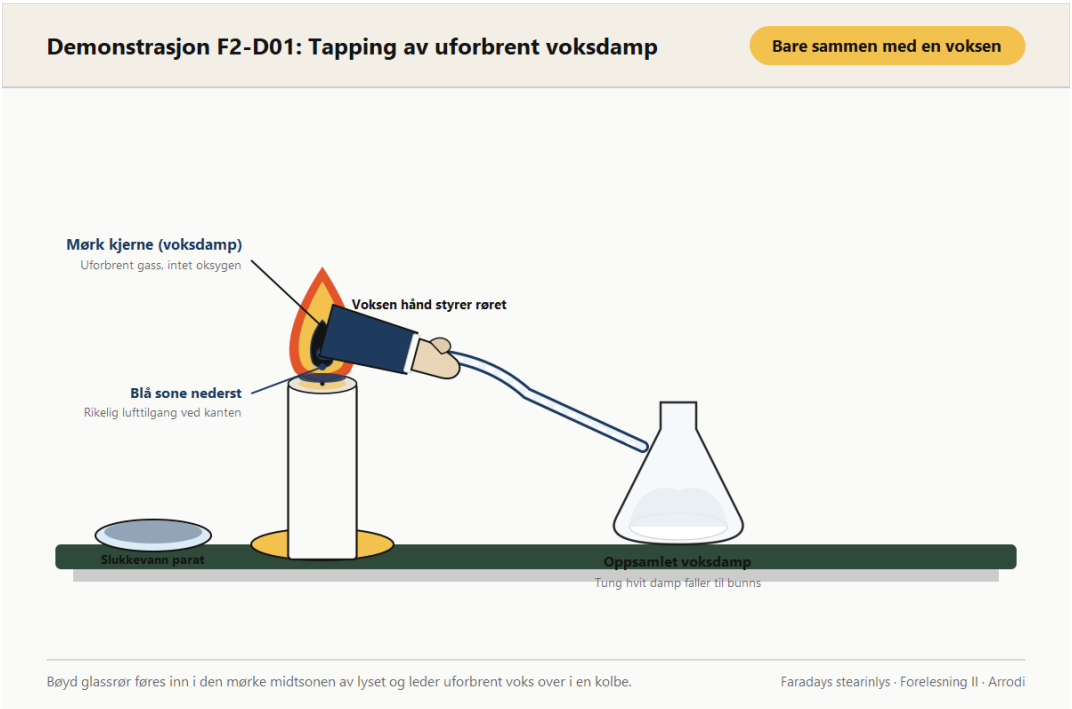
Demonstrasjon F2-D01: Tapping av uforbrent voksdamp med bøyd glassrør

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Now, I take this bent glass tube, and introduce one end into that part of the flame»

Sikkerhet for barn: Glassrøret føres inn i den mørke sonen av en brennende flamme. Glasset blir hett og flammen krever stødig hånd og voksent tilsyn med slukkevann på bordet.

Figur: **Figur F2-D01.** Bøyd glassrør ført inn i det mørke midtpartiet av lysflammen for å tappe av uforbrent damp til en kolbe.



Figur F2-D01 (Fig. 7): Bøyd glassrør ført inn i lysflammens mørke indre sone. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Demonstrasjon F2-D02: Voks oppvarmet i kolbe og damp antent i skål

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is some wax in a glass flask, and I am going to make it hot, as the inside of that candle-flame is hot»

Sikkerhet for barn: Faradays historiske demonstrasjon med oppvarming av brensel over laboratorielampe og antenning av tung hydrokarbondamp i åpent kar. Varm oljedamp kan flamme opp ukontrollert og forårsake alvorlige brannskader. Må aldri utføres i hjemmet.

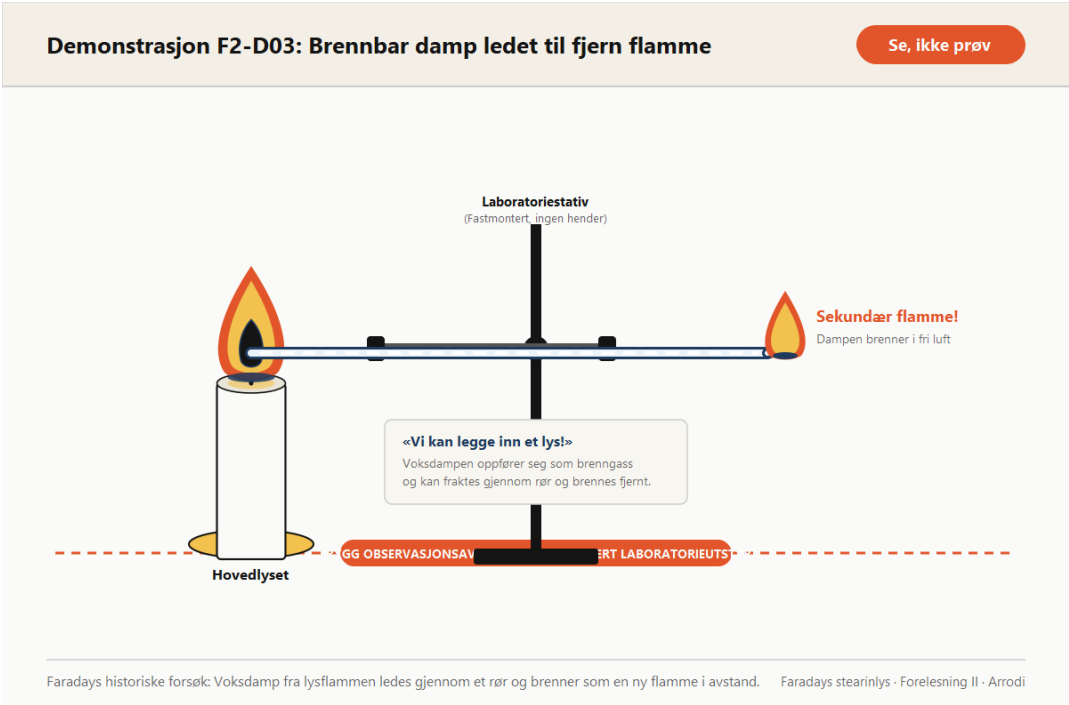
Demonstrasjon F2-D03: Fjern flamme matet av damp gjennom langt rør

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «get that vapour to pass through the tube to the other extremity, where we will light it, and obtain absolutely the flame of the candle at a place distant from it.»

Sikkerhet for barn: Tapping og transport av brennbar gass gjennom glassrør til en ekstern flamme er en laboratoriedemonstrasjon som innebærer risiko for tilbakeslag og knust varmt glass. Kun ment for historisk lesning.

Figur: **Figur F2-D03.** Brennbar damp ledet gjennom glassrør og antent i den andre enden i avstand fra lyset.



Figur F2-D03 (Fig. 8): Brennbar damp ledet gjennom rør og antent som fjern flamme. Sikkerhetsmerke: Se, ikke prøv.

Merknad: **Etter 1861.** Faraday skjelner presist mellom en damp (som kondenserer til væske ved romtemperatur) og en permanent gass. I dag vet vi at voksdampen består av fordampede og delvis pyrolyserte alkaner (hydrokarboner med 20–30 karbonatomer). Den vonde lukten når et lys blåses ut skyldes kondenserte aerosoldråper og spor av akrolein.

Jeg får ingen damp fra den delen som allerede er brent. Hvis jeg hever røret (fig. 7) til den øvre delen av flammen, vil det som strømmer ut, så snart dampen er feid ut, ikke lenger være brennbart: Det er allerede brent. Hvordan brent? Hvorfor, brent på denne måten: I midten av flammen, der veken er, finnes denne brennbare dampen; på utsiden av flammen er luften som vi vil oppdage er nødvendig for lysets forbrenning; mellom de to finner det sted en intens kjemisk reaksjon, hvorved luften og brenselet virker inn på hverandre, og nøyaktig i samme øyeblikk som vi oppnår lys, blir dampen innenfor tilintetgjort. Dersom dere undersøker hvor varmen i et lys befinner seg, vil dere finne den høyst besynderlig ordnet. Sett at jeg tar dette lyset og holder et stykke papir tett ned på flammen, hvor er da varmen i denne flammen? Ser dere ikke at den ikke er på innsiden? Den befinner seg i en ring, nøyaktig på det stedet hvor jeg fortalte dere at den kjemiske reaksjonen foregikk; og selv med min ujevne måte å utføre forsøket på, vil det, dersom det ikke er for mye uro i luften, alltid oppstå en ring. Dette er et godt forsøk for dere å gjøre hjemme. Ta en papirstrimmel, pass på at luften i rommet er rolig, og legg papirbiten tvers over midten av flammen (jeg må ikke snakke mens jeg utfører forsøket), og dere vil oppdage at det svis på to steder, og at det ikke er svidd, eller ytterst lite, i midten; og når dere har prøvd forsøket en gang eller to slik at dere gjør det pent, vil dere bli overmåte interessert i å se hvor varmen er, og finne ut at den befinner seg der hvor luften og brenselet møtes.

Demonstrasjon F2-D04: Heving av røret til flammens øvre forbrente del

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «If I raise the tube (fig. 7) to the upper part of the flame, so soon as the vapour has been swept out, what comes away will be no longer combustible»

Sikkerhet for barn: Glassrør føres opp i flammens øverste spiss der røykgassene er varme, men ikke lenger brennbare. Krever voksentilsyn mot varmt glass.

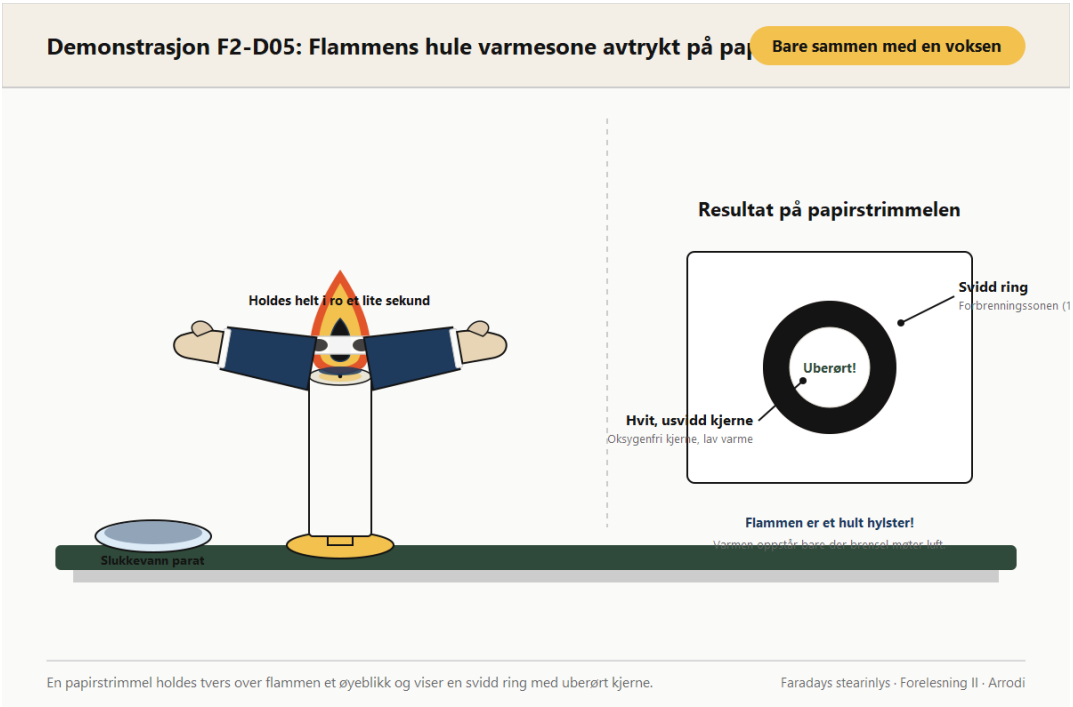
Demonstrasjon F2-D05: Tverrsnitt av flammens hete avtrykt på papirark

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Take a strip of paper, have the air in the room quiet, and put the piece of paper right across the middle of the flame»

Sikkerhet for barn: Papir holdes tvers over flammen et lite sekund og svir en mørk ring. Papir kan raskt ta fyr dersom det holdes et halvt sekund for lenge; en voksen må styre forsøket og ha vann stående parat.

Figur: **Figur F2-D05.** Flammens hule varmesone avtrykt på papir.



Figur F2-D05: Tverrsnitt av flammens hete avtrykt som svidd ring på papirark. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Merknad: **Etter 1861.** Den svidde ringen på papiret beviser at lysflammen er et hult reaksjonshylster. Forbrenningen krever oksygen, og ettersom oksygenet må diffundere inn fra luften på utsiden, skjer forbrenningen utelukkende i et tynt grensesjikt. Inne i kjeglen er det oksygenfritt, og temperaturen er bare 600–800 °C mot over 1400 °C i reaksjonssonen.

Dette er ytterst viktig for oss etter hvert som vi går videre med emnet vårt. Luft er ubetinget nødvendig for forbrenning; og hva mer er: Jeg må få dere til å innse at frisk luft er nødvendig, ellers ville vi være mangelfulle i vår resonnering og i våre forsøk. Her er en glassklokke med luft. Jeg setter den over et lys, og det brenner overmåte vakkert i den i begynnelsen, hvilket viser at det jeg har sagt om saken er sant; men det vil snart inntreffe en forandring. Se hvordan flammen strekker seg oppover, like etter blekner, og til slutt slukner helt. Og hvorfor slukner den? Ikke bare fordi den mangler luft, for glassklokken er like full av luft nå som den var før; men den mangler ren, frisk luft. Klokken er full av luft som er delvis forandret, delvis uforandret; men den inneholder ikke tilstrekkelig av den friske luften som er nødvendig for forbrenningen av et lys. Dette er punkter som vi, som unge kjemikere, må samle opp; og dersom vi ser litt nøyere på denne formen for virkning, vil vi finne visse trinn i resonnementet ytterst interessante. Her er for eksempel oljelampen jeg viste dere — en utmerket lampe for våre forsøk — den gamle Argand-lampen. Nå gjør jeg den som et lys [sperrer for luftpassasjen inn i midten av flammen]; der er bomullen; der er oljen som stiger opp i den; og der er den kjegleformede flammen. Den brenner dårlig, fordi det er en delvis hindring for luften. Jeg har ikke tillatt luft å nå fram til den, unntatt rundt utsiden av flammen, og den brenner ikke godt. Jeg kan ikke slippe inn mer luft fra utsiden, ettersom veken er stor; men dersom jeg, slik Argand så kløktig gjorde, åpner en passasje til midten av flammen og lar luften strømme inn der, vil dere se hvor mye vakrere den brenner. Dersom jeg stenger luften ute, se hvor den soter; og hvorfor? Vi har nå noen ytterst interessante punkter å studere. Vi har tilfellet med forbrenningen av et lys; vi har tilfellet med et lys som slukkes av mangel på luft; og vi har nå tilfellet med ufullstendig forbrenning; og dette er for oss så interessant at jeg vil at dere skal forstå det like grundig som dere forstår tilfellet med et lys som brenner på best tenkelige vis. Jeg skal nå lage en stor flamme, for vi behøver de størst mulige illustrasjoner. Her er en større veke [brenner terpentin på en ball av bomull]. Alle disse tingene er jo tross alt det samme som lys. Har vi større veker, må vi ha en større lufttilførsel, ellers får vi en mindre fullkommen forbrenning. Se nå på dette

svarte stoffet som stiger opp i atmosfæren; det går en jevn strøm av det. Jeg har sørget for midler til å føre bort den ufullstendig brente delen, for at den ikke skal sjenere dere. Se på sotpartiklene som flyr av sted fra flammen: Se for en ufullkommen forbrenning det er, fordi den ikke kan få nok luft. Hva er det da som skjer? Hvorfor, visse ting som er nødvendige for forbrenningen av et lys er fraværende, og følgelig frembringes svært uheldige resultater; men vi ser hva som hender med et lys når det brennes i en ren og passende tilstand av luft. Da jeg viste dere denne svikarakteren ved flammens ring på den ene siden av papiret, kunne jeg likeledes ha vist dere, ved å snu over til den andre siden, at brenningen av et lys frembringer samme slags sot — trekull eller karbon.

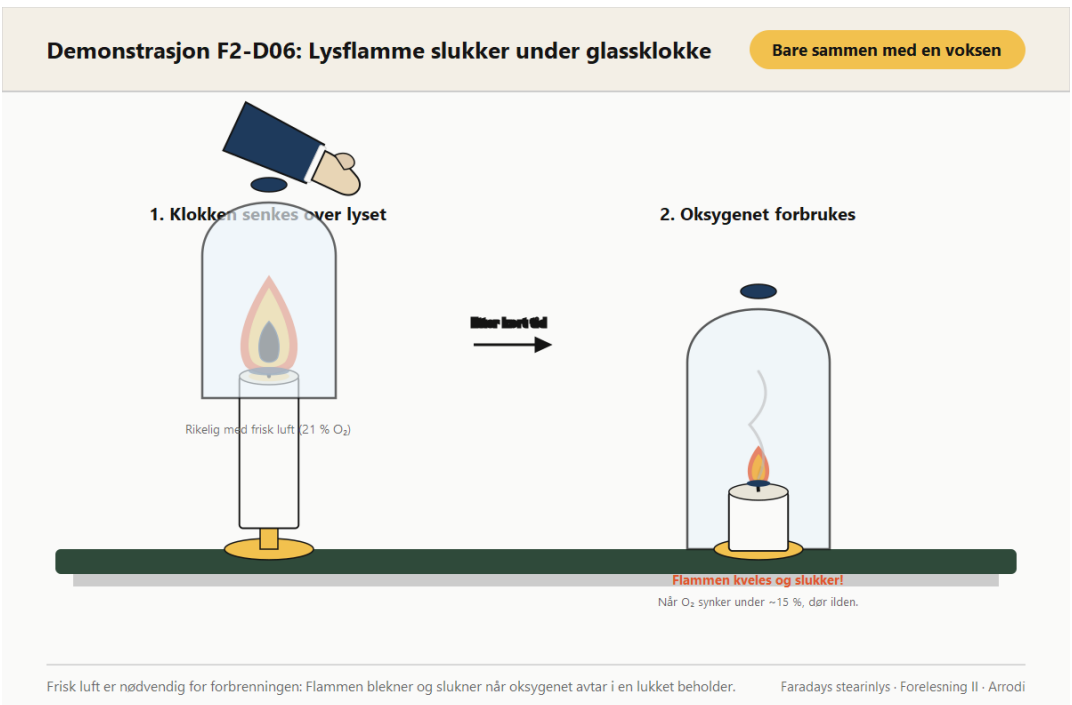
Demonstrasjon F2-D06: Lys under glassklokke slukker ved mangel på frisk luft

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Here is a jar of air. I place it over a candle, and it burns very nicely in it at first»

Sikkerhet for barn: Glassklokke senkes over et brennende lys inntil oksygenet forbrukes og flammen kveles. Varmt glass og åpen flamme; må kun utføres sammen med en voksen.

Figur: **Figur F2-D06.** Lysflamme under glassklokke slukker ved oksygenmangel.



Figur F2-D06: Lysflamme kveles og slukker når luften i glassklokken forbrukes. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Demonstrasjon F2-D07: Argand-lampens lufttrekk og røyking

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «here is the oil-lamp I shewed you--an excellent lamp for our experiments--the old Argand lamp.»

Sikkerhet for barn: Faradays historiske saldemonstrasjon av en Argand-oljelampe med åpen oljeild og soting ved blokkert luftpassasje. Åpen flamme utenom stearinlys innebærer akutt brannfare og soting; kun ment for historisk formidling, aldri som forsøk for barn.

Demonstrasjon F2-D08: Stor sotende terpentinflamme på bomullskule

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a larger wick [burning turpentine on a ball of cotton].»

Sikkerhet for barn: Faradays historiske saldemonstrasjon med brennende terpentinolje for å vise ekstrem soting og ufullstendig forbrenning. Terpentin antennes lett og danner giftig, tett røyksøyle og store flammer. Kun for historisk beskrivelse.

> Merknad: **Etter 1861.** Luften i klokken går ikke tom, men oksygeninnholdet synker fra 21 % til rundt 15 %, hvorved lysflammen kveles fordi forbrenningsvarmen ikke lenger strekker til for å opprettholde reaksjonen. Argands oppfinnelse fra 1780 tilførte luft både innvendig og utvendig, noe som ga tilstrekkelig oksygen til fullstendig forbrenning til karbondioksid (CO_2) og vann (H_2O) uten sot.

Men før jeg viser det, la meg forklare for dere — ettersom det er helt nødvendig for formålet vårt — at selv om jeg tar et lys og gir dere, som det allmenne resultat, dets forbrenning i form av en flamme, må vi likevel undersøke om forbrenning alltid opptrer i denne tilstanden, eller om det finnes andre tilstander for flammer; og vi skal snart oppdage at det gjør det, og at de er høyst vesentlige for oss. Jeg tror kanskje den beste illustrasjonen på et slikt poeng for oss, som ungdommer, er å vise resultatet av en sterk kontrast. Her er litt krutt. Dere vet at krutt brenner med en flamme — vi kan i sannhet kalle det en flamme. Det inneholder karbon og andre stoffer, som samlet får det til å brenne med en flamme. Og her er litt pulverisert jern, eller jernspon. Nå har jeg til hensikt å brenne disse to tingene sammen. Jeg har en liten morter som jeg vil blande dem i. (Før jeg går i gang med disse forsøkene, la meg håpe at ingen av dere, ved å prøve å gjenta dem for moro skyld, vil volde noen skade. Disse tingene kan alle brukes på ytterst forsvarlig vis dersom man utviser forsiktighet; men uten det vil det gjøres mye ugagn.) Vel da, her er litt krutt, som jeg legger i bunnen av denne lille trebeholderen, og blander jernsponet inn i det, idet min hensikt er å la kruttet sette fyr på sponet og brenne det i luften, for derved å vise forskjellen mellom stoffer som brenner med flamme og stoffer som ikke brenner med flamme. Her er blandingen; og når jeg setter fyr på den, må dere iaktta forbrenningen, og dere vil se at den er av to slag. Dere vil se kruttet brenne med en flamme, og sponet kastes opp i været. Dere vil se dem brenne også, men uten frembringelse av flamme. De vil hver for seg brenne adskilt. [Foreleseren antente deretter blandingen.] Der har vi kruttet, som brenner med flamme; og der er sponet — det brenner med en annen form for forbrenning. Dere ser altså disse to store skillene; og på disse forskjellene beror all nytte og all skjønnhet ved den flammen vi benytter til å gi oss lys. Når vi bruker olje, eller gass, eller lys for belysningens skyld, avhenger deres skikkethet fullt og helt av disse ulike artene av forbrenning.

Demonstrasjon F2-D09: Krutt og jernspon antent sammen

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Well, then, here is a little gunpowder, which I put at the bottom of that little wooden vessel, and mix the iron filings up with it»

Sikkerhet for barn: Faradays historiske forelesningsforsøk med antenning av svartkrutt og metallpulver. Eksplosivt stoff, blendende gnistsprut og brannfare. Boken forbyr strengt enhver hjemlig etterligning av dette forsøket.

> Merknad: **Etter 1861.** Flamme oppstår bare når brenselet er i gass- eller dampform. Krutt danner brennbare gasser som reagerer og gir en gassflamme, mens faste jernpartikler ikke fordamper; jernet oksiderer heterogent på overflaten og gløder med intens termisk stråling uten noen gassflamme omkring partiklene.

Det finnes så underlige tilstander ved flammer at det krever litt dyktighet og nøyaktig skjelneevne å skille de ulike formene for forbrenning fra hverandre. Her er for eksempel et pulver som er svært brennbart, sammensatt, som dere ser, av adskilte små partikler. Det kalles *lycopodium* (heksemel), og hver av disse partiklene kan frembringe en damp og danne sin egen flamme; men ved å se dem brenne, ville dere forestille dere at det hele var én sammenhengende flamme. Jeg skal nå sette fyr på en mengde, og dere vil se virkningen. Vi så en flammeladning, tilsynelatende i ett legeme; men denne susende lyden [henviser til lyden frembrakt under forbrenningen] var et bevis på at forbrenningen ikke var en kontinuerlig eller regelmessig en. Dette er pantomimenes lynild, og en overmåte god etterligning. [Forsøket ble gjentatt to ganger ved å blåse lycopodium fra et glassrør gjennom en spritflamme.] Dette er ikke et eksempel på en forbrenning slik som sponet jeg nettopp talte om, og som vi nå må vende tilbake til.

Demonstrasjon F2-D10: Lycopodiumpulver blåst gjennom spritflamme (teaterlyn)

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a powder which is very combustible, consisting, as you see, of separate little particles. It is called lycopodium»

Sikkerhet for barn: Faradays demonstrasjon av brennbart sporestøv blåst gjennom en flamme for å lage en teaterflamme. Finfordelt pulver i luft gir hurtig støvforbrenning med stikkflamme og alvorlig fare for overtredelse av brannsikkerheten. Kun omtalt historisk.

> Merknad: **Etter 1861.** Lycopodium består av tørkede sporer fra kråkefotplanter. Fordi sporene er mikroskopiske (rundt 30 mikrometer) og inneholder opptil 50 % brennbar planteolje, har de enorm overflate i forhold til massen. Dette demonstrerer mekanismen bak støveksplosjoner.

Sett at jeg tar et lys og undersøker den delen av det som fortoner seg lysest for øynene våre. Der får jeg tak i disse svarte partiklene som dere allerede mange ganger har sett frigjøres fra flammen, og som jeg nå har til hensikt å hente ut på en annen måte. Jeg tar dette lyset og fjerner renningen som oppstår på grunn av lufttrekk; og dersom jeg nå anbringer et glassrør slik at det akkurat dypper ned i denne lysende delen, slik som i vårt første forsøk, bare høyere oppe, ser dere resultatet. I stedet for å få den samme hvite dampen som dere fikk før, vil dere nå få en svart damp. Der stiger den, så svart som blekk. Den er visselig høyst forskjellig fra den hvite dampen; og når vi fører en flamme bort til den, vil vi oppdage at den ikke brenner, men at den slukker flammen. Vel, disse partiklene er, som jeg sa før, rett og slett lysets røyk; og dette bringer i hu det gamle rådet som domprost Swift anbefalte tjenere til deres adspredelse, nemlig å skrive i taket i et rom med et stearinlys. Men hva er dette svarte stoffet? Jo, det er det samme karbonet som finnes i lyset. Hvordan kommer det ut av lyset? Det fantes åpenbart i lyset, ellers ville vi ikke hatt det her. Og nå vil jeg at dere skal følge meg i denne forklaringen. Dere ville neppe tro at alle disse stoffene som flyr omkring i London i form av sot og kullsmuss, er selve flammens skjønnhet og liv, og som forbrennes i den slik disse jernsponene ble brent her. Her er et stykke metallnetting, som ikke vil slippe flammen gjennom seg; og jeg tror dere nesten umiddelbart vil se at når jeg senker den lavt nok til å berøre denne delen av flammen som ellers er så lysende, kveler og slukker den den straks, og tillater en sky av røyk å stige opp.

Demonstrasjon F2-D11: Sort karbonrøyk tappet ut fra flammens lysende del

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «if I now arrange a glass tube so as just to dip into this luminous part, as in our first experiment, only higher, you see the result. In place of having the same white vapour that you had before, you will now have a black vapour.»

Sikkerhet for barn: Glassrør dyppes inn i den lysende gule delen av lysflammen for å fange opp sotpartikler. Varmt glass og åpen ild krever tilsyn av voksen.

> Figur: **Figur F2-D11.** Sort karbonrøyk fra flammens lysende del.



Figur F2-D11: Glassrør i flammens lysende del tapper ut sort soterøyk. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

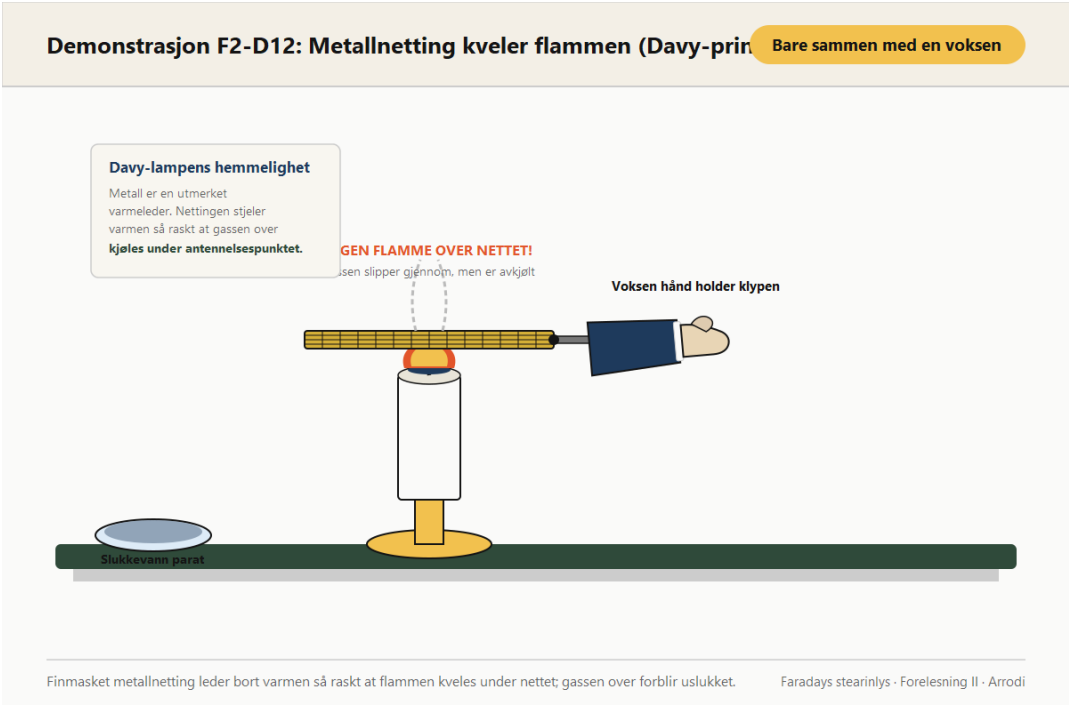
Demonstrasjon F2-D12: Metallnetting senket over flammen kveler ilden (Davy-prinsippet)

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Here is a piece of wire gauze, which will not let the flame go through it; and I think you will see, almost immediately, that when I bring it low enough to touch that part of the flame which is otherwise so bright, that it quells and quenches it at once»

Sikkerhet for barn: Finmasket metallnetting holdes over lysflammen med tang eller klype. Metallet leder varmen bort og blir brennhett på sekunder; må kun håndteres sammen med en voksen.

Figur: **Figur F2-D12.** Metallnetting senket over lysflammen kveler ilden (Davy-prinsippet).



Figur F2-D12: Metallnetting senket over flammen kveler ilden etter Davy-prinsippet. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Merknad: **Etter 1861.** Metallnettingen leder varme bort så effektivt at gassen over nettingen kjøles ned under antennelsestemperaturen. Dette er samme fysiske prinsipp som Humphry Davy benyttet i sin berømte sikkerhetslampe for gruvearbeidere i 1815, der nettingen hindret flammen i å antenne eksplosiv metangass i kullgruvene.

Jeg vil nå at dere skal følge meg på dette punktet — at når et stoff brenner, slik jernsponet brant i flammen fra kruttet, uten å gå over i dampform (enten det blir flytende eller forblir fast), blir det usedvanlig lyssterkt. Jeg har her tatt for meg tre eller fire eksempler utenom selve lyset, med det uttrykkelige formål å illustrere dette punktet for dere; for det jeg har å si gjelder for alle stoffer, enten de brenner eller ikke brenner — at de er usedvanlig lysende dersom de bevarer sin faste tilstand, og at det er denne tilstedeværelsen av faste partikler i lysflammen som gir den dens lysstyrke.

Merknad: **Etter 1861.** Faste stoffer og væsker sender ut lys i et kontinuerlig spekter når de blir tilstrekkelig varme (termisk stråling, beskrevet ved Plancks strålingslov i 1900). Gassmolekyler alene kan bare sende ut lys ved bestemte spektrallinjer, noe som gir et mye svakere synlig lys. Det gule lyset fra stearinlyset er ren glødestråling fra utallige mikroskopiske karbonnanopartikler ved ca. 1200–1400 °C.

Her er en platinatråd, et legeme som ikke forandrer seg ved oppvarming. Hvis jeg varmer den opp i denne flammen, se hvor usedvanlig lysende den blir. Jeg vil gjøre flammen svak, med det formål bare å gi en smule lys, og likevel vil dere se at varmen den kan overføre til denne platinatråden, skjønt langt mindre enn varmen den selv besitter, er i stand til å bringe platinatråden til en langt høyere tilstand av lysglans. Denne flammen har karbon i seg; men jeg skal ta en som ikke har noe karbon i seg. Det finnes et materiale, et slags brensel — en damp eller gass, hva dere enn foretrekker å kalle det — i denne beholderen, og den har ingen faste partikler i seg; jeg tar derfor den fordi den er et eksempel på at selve flammen brenner uten noe som helst fast stoff overhodet; og dersom jeg nå anbringer dette faste stoffet inn i den, ser dere hvilken intens varme den har, og hvor klart den får det faste legemet til å gløde. Dette er røret som vi tilfører denne særskilte gassen gjennom, som vi kaller hydrogen, og som dere skal få vite alt om neste gang vi møtes. Og her er et stoff som kalles oksygen, ved hjelp av hvilket dette hydrogenet kan brenne; og skjønt vi ved deres blanding frembringer langt større varme enn dere kan oppnå fra lyset, er det likevel ytterst lite lys. Dersom jeg derimot tar et fast stoff og fører det inn i den, frembringer vi et intenst lys. Hvis jeg tar et stykke kalk, et stoff som ikke vil brenne, og som ikke vil fordampe av varmen (og fordi det ikke fordamper, forblir fast og forblir opphetet), vil dere snart legge merke til hva som hender med hensyn til dets gløding. Jeg har her en høyst intens varme, frembrakt ved forbrenningen av hydrogen i kontakt med oksygen; men det er ennå ytterst lite lys — ikke av mangel på varme, men av mangel på partikler som kan bevare sin

faste tilstand; men når jeg holder denne kalkbiten i hydrogenflammen idet den brenner i oksygenet, se hvor den gløder! Dette er det strålende kalklyset, som kappes med buelampen, og som nesten er på høyde med sollyset. Jeg har her et stykke karbon eller trekull, som vil brenne og gi oss lys på nøyaktig samme måte som om det ble brent som en del av et stearinlys. Varmen som finnes i et lys' flamme spalter dampen fra voksen og frigjør karbonpartiklene — de stiger opp opphetet og glødende slik dette nå gløder, og går deretter ut i luften. Men partiklene forlater aldri et lys i form av karbon når de er brent. De forsvinner ut i luften som et fullkomment usynlig stoff, som vi heretter skal lære å kjenne.

Demonstrasjon F2-D13: Platinatråd oppvarmet til hvitglødende i gassflamme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a platinum-wire, a body which does not change by heat. If I heat it in this flame, see how exceedingly luminous it becomes.»

Sikkerhet for barn: Høy laboratorietemperatur med brenner og glødende edelmetalltråd. Varmemetall kan gi alvorlige brannskader; kun for laboratorievisning.

Demonstrasjon F2-D14: Hydrogen gassflamme brennende i rent oksygen

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «This is the pipe through which we convey this particular gas, which we call hydrogen»

Sikkerhet for barn: Faradays historiske apparat med hydrogengass og rent oksygen under trykk. Blanding av hydrogen og oksygen (knallgass) er ekstremt eksplosjonsfarlig ved feilhåndtering. Strengt forbudt for barn.

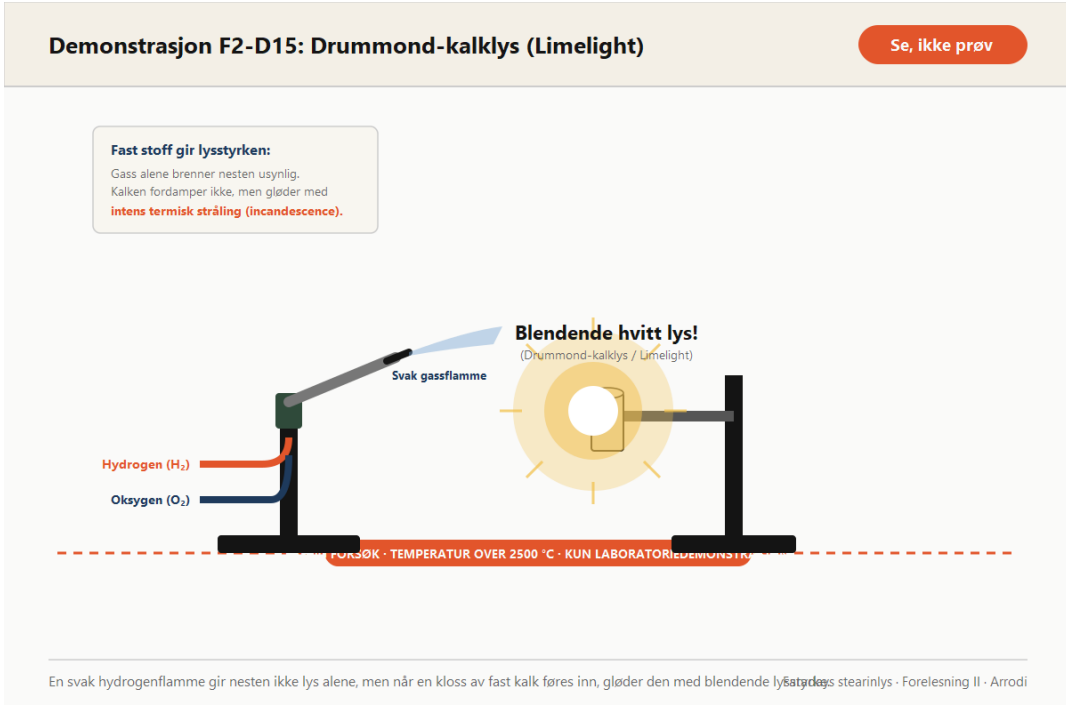
Demonstrasjon F2-D15: Drummond-kalklys (Limelight) i knallgassflamme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «when I hold this piece of lime in the flame of the hydrogen as it burns in the oxygen, see how it glows! This is the glorious lime-light»

Sikkerhet for barn: Ekstrem temperatur og blendende hvitt lys som kan skade synet uten beskyttelsesbriller. Rent historisk eksperiment.

> Figur: **Figur F2-D15.** Drummond-kalklys (Limelight) i hydrogen-oksygen-flamme.



Figur F2-D15: Drummond-kalklys med blendende hvit glød i gassflamme. Sikkerhetsmerke: Se, ikke prøv.

Demonstrasjon F2-D16: Glødende trekull i hydrogen-oksygen-flamme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here a piece of carbon or charcoal, which will burn and give us light exactly in the same manner as if it were burnt as part of a candle.»

Sikkerhet for barn: Fast karbon innført i gassbrennerflamme med ren oksygentilførsel. Utvikler voldsom varme og gnistregn; demonstrasjon kun for faglærere.

> Merknad: **Etter 1861.** Kalklyset (oppfunnet av Thomas Drummond i 1825) brukte en brenner med hydrogen og oksygen rettet mot en kloss av kalsiumoksid (CaO). Kalken smelter først ved 2572 °C, og sender ut et blendende hvitt lys over hele det synlige spekteret. Dette ble brukt som teaterspotlight på 1800-tallet, opphavet til uttrykket «å stå i rampelyset» (*in the limelight*).

Er det ikke vakkert å tenke på at en slik prosess finner sted, og at en så uren ting som trekull kan bli så glødende? Dere ser at det koker ned til dette — at alle lyssterke flammer inneholder disse faste partiklene; alle ting som brenner og danner faste partikler, enten under den tiden de brenner, som i lyset, eller umiddelbart etter at de er brent, slik som i tilfellet med kruttet og jernsponet — alle disse tingene gir oss dette strålende og vakre lyset.

> Merknad: **Etter 1861.** Den «usynlige substansen» som karbonet forvandles til når det er fullstendig brent, er karbondioksidgass (CO_2). Hvert karbonatom binder seg kjemisk til to oksygenatomer fra luften under sterk varmeavgivelse.

Jeg skal gi dere noen få eksempler. Her er et stykke fosfor, som brenner med en klar, lysende flamme. Meget vel; vi kan nå trekke den slutning at fosfor vil frembringe, enten i det øyeblikket det brenner eller i etterkant, disse faste partiklene. Her er fosforet tent, og jeg dekker det over med dette glasset for å holde på det som dannes. Hva er all denne røyken? Denne røyken består av nettopp de partiklene som frembringes ved forbrenningen av fosforet. Her er igjen to stoffer. Dette er kaliumklorat, og dette andre er antimonsulfid. Jeg skal blande disse litt sammen, og deretter kan de brennes på mange vis. Jeg skal berøre dem med en dråpe svovelsyre, for å gi dere en illustrasjon på kjemisk reaksjon, og de vil øyeblikkelig brenne. [Foreleseren antente deretter blandingen ved hjelp av svovelsyre.] Nå kan dere ut fra tingenes utseende dømme selv om de danner fast stoff under forbrenningen. Jeg har gitt dere rekken av resonnementer som vil sette dere i stand til å si hvorvidt de gjør det eller ikke; for hva er vel denne lysende flammen annet enn de faste partiklene som passerer bort?

Demonstrasjon F2-D17: Brennende fosfor under glassklokke

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a piece of phosphorus, which burns with a bright flame. Very well; we may now conclude that phosphorus will produce, either at the moment that it is burning or afterwards, these solid particles.»

Sikkerhet for barn: Hvit fosfor er et giftig og selvantennelig kjemikalie som gir dype etseskader og brenner med voldsom hete. Røyken av fosforpentoksid er etsende. Strengt forbudt for barn og ufaglærte.

Demonstrasjon F2-D18: Kaliumklorat og antimonsulfid antent med konsentrert svovelsyre

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «This is chlorate of potassa, and this other sulphuret of antimony. I shall mix these together a little, and then they may be burnt in many ways. I shall touch them with a drop of sulphuric acid»

Sikkerhet for barn: Kjemisk sjokkantenning med sterkt oksiderende kaliumklorat, metallforbindelse og konsentrert svovelsyre. Reaksjonen er eksplosiv og kaster etsende syredråper og giftige gasser. Kun omtalt som kjemisk historie.

> Merknad: **Etter 1861.** Den hvite røyken fra det brennende fosforet består av faste partikler av fosforpentoksid (P_4O_{10}), som binder seg eksplosivt til vannmolekyler i luften og danner fosforsyre. Reaksjonen mellom kaliumklorat ($KClO_3$) og konsentrert svovelsyre danner klordioksidgass (ClO_2), et ustabilt og kraftig oksidasjonsmiddel som antenner svovel- og antimonsulfidblandinger spontant.

> Figur: **Figur F2-D18.** Kjemisk forbrenning og dannelse av faste partikler.

> *Figur F2-D18 (Fig. 9): Kjemisk reaksjon som danner faste partikler under forbrenning. Sikkerhetsmerke: Se, ikke prøv.*

Herr Anderson har en svært varm digel stående i ovnen — jeg har til hensikt å kaste litt zinkspon ned i den, og det vil brenne med en flamme lik krutt. Jeg gjør dette forsøket fordi dere utmerket godt kan gjøre det hjemme. Nå vil jeg at dere skal se hva resultatet av denne zinkforbrenningen blir. Her brenner det — brenner vakkert som et lys, kan jeg gjerne si. Men hva er all denne røyken, og hva er disse små ullskyene som vil komme til dere dersom dere ikke kan komme til dem, og gjøre seg merkbare for dere i form av den gamle filosofiske ullen, som det ble kalt? Vi vil også i denne digelen sitte igjen med en mengde av dette ullaktige stoffet. Men jeg skal ta et stykke av denne samme zinken og gjøre et forsøk litt nærmere hjemlige trakter, om man så må si. Dere vil her oppleve nøyaktig det samme. Her er zinkstykket, der borte [peker på en hydrogenflamme] er ovnen, og vi skal gå i gang og forsøke å brenne metallet. Det gløder, ser dere: Der er forbrenningen, og der er det hvite stoffet som det brenner til. Og dersom jeg altså tar denne hydrogenflammen som representant for et stearinlys, og viser dere et stoff som zink brenne i flammen, vil dere se at det bare var under selve forbrenningshandlingen at dette stoffet glødet — så lenge det ble holdt hett; og hvis jeg tar en hydrogenflamme og fører dette hvite stoffet fra zinken inn i den, se hvor vakkert det gløder, og det rett og slett fordi det er et fast stoff.

Demonstrasjon F2-D19: Sink brent i glødende digel (filosofisk ull)

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Mr. Anderson has in the furnace a very hot crucible,--I am about to throw into it some zinc filings, and they will burn with a flame like gunpowder.»

Sikkerhet for barn: Smeltet og brennende metall i rødglødende ovnsdigel. Zinkdamp kan forårsake metallfeber ved innånding. Skal kun beskrives historisk.

Demonstrasjon F2-D20: Sink brent i hydrogenflamme og gløding av sinkoksid

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is the piece of zinc, there [pointing to a jet of hydrogen] is the furnace, and we will set to work and try and burn the metal.»

Sikkerhet for barn: Brenning av metall i hydrogenflamme krever brenngass under trykk og laboratorieavtrekk. Må ikke etterlignes av barn.

> Merknad: **Etter 1861.** Alkymistene kalte sinkoksid (ZnO) for *lana philosophica* («filosofisk ull») fordi oksiddampen kondenserer til lette, hvite, ullaktige flak. Sink koker ved 907 °C; når metallperlene fordamper i heten, brenner sinkdampen i luften med en grønnhvit flamme og danner mikroskopiske partikler av sinkoksid.

Jeg vil nå ta en slik flamme som jeg hadde for et øyeblikk siden, og frigjøre karbonpartiklene fra den. Her er litt kamfen som brenner med røyk; men hvis jeg sender disse røykpartiklene gjennom dette røret og inn i hydrogenflammen, vil dere se at de vil brenne og bli lysende, fordi vi varmer dem opp for andre gang. Der har vi dem. Dette er karbonpartiklene antent på ny for andre gang. Det er de partiklene som dere lett kan se ved å holde et stykke papir bak dem, og som, mens de befinner seg i flammen, antennes av den frembrakte varmen, og når de slik er opphetet, frembringer denne lysstyrken. Når partiklene ikke er utskilt, oppnår man ingen lysstyrke. Flammen fra kullgass skylder sin lysstyrke til utskillelsen, under forbrenningen, av disse karbonpartiklene, som finnes like mye i den som i et stearinlys. Jeg kan svært raskt forandre denne ordningen. Her er for eksempel en lysende gassflamme. Sett at jeg tilfører så mye luft til flammen at alt sammen brenner før disse partiklene frigjøres, da vil jeg ikke få denne lysstyrken; og jeg kan gjøre det på denne måten: Dersom jeg plasserer denne hetten av metallnetting over brenneråpningen, slik dere ser, og deretter tenner gassen over den, brenner den med en ikke-lysende flamme, fordi den har rikelig med luft blandet med seg før den brenner; og dersom jeg hever nettingen, ser dere at det ikke brenner under den. Det finnes rikelig med karbon i gassen; men fordi atmosfæren slipper til og blander seg med den før den brenner, ser dere hvor blek og blå flammen er. Og dersom jeg blåser på en lysende gassflamme slik at alt dette karbonet fortæres før det rekker å bli opphetet til glødepunktet, vil den likeledes brenne blått: [Foreleseren illustrerte sine bemerkninger ved å blåse på gasslyset.] Den eneste grunnen til at jeg ikke får det samme klare lyset når jeg slik blåser på flammen, er at karbonet møter tilstrekkelig luft til å brennes før det skilles ut i fri tilstand i flammen. Forskjellen skyldes utelukkende at de faste partiklene ikke skilles ut før gassen brennes.

Demonstrasjon F2-D21: Kamfenrøyk sendt inn i hydrogenflamme og opphetet til lysglans

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is some camphine, which will burn with a smoke; but if I send these particles of smoke through this pipe into the hydrogen flame, you will see they will burn and become luminous»

Sikkerhet for barn: Laboratorieoppsett med tilførsel av brennbar kamfendamp inn i en hydrogenstråle. Flammepunkter og gassrør krever profesjonell håndtering. Kun for historisk formidling.

Demonstrasjon F2-D22: Gassflamme med nettinghette brenner med blå, ikke-lysende flamme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If I place over the jet this wire-gauze cap, as you see, and then light the gas over it, it burns with a non-luminous flame, owing to its having plenty of air mixed with it before it burns»

Sikkerhet for barn: Antenning av kullgass over metallnetting. Blanding av brenngass og luft i åpen brenner innebærer eksplosjons- og brannfare; kun faglærerforsøk.

Demonstrasjon F2-D23: Luft innblåst i gassflamme gir blå forbrenning uten sotglød

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «And if I blow upon a bright gas-flame, so as to consume all this carbon before it gets heated to the glowing point, it will also burn blue»

Sikkerhet for barn: Å blåse luft inn i en brennende gassbrenner kan slå flammen tilbake inn i brennerrøret. Skal ikke gjøres hjemme.

> Merknad: **Etter 1861.** Robert Bunsen oppfant bunsenbrenneren i Heidelberg i 1855, nettopp ved å la luft suges inn og forblandes med gassen i brennerrøret før antenning. Når det er rikelig med oksygen til stede under hele forbrenningen, rekker aldri frie karbonpartikler å klumpe seg sammen og gløde; i stedet reagerer hydrokarbonene direkte til gassformig CO_2 og H_2O, og flammen blir sotfri, varm og blå.

Dere legger merke til at det oppstår bestemte produkter som følge av forbrenningen av et lys, og at av disse produktene kan en del betraktes som trekull eller sot; dette trekullet frembringer, når det brennes etterpå, et annet produkt; og det angår oss i høy grad nå å bringe på det rene hva dette andre produktet er. Vi viste at noe forsvant bort; og jeg vil nå at dere skal forstå hvor mye som stiger opp i luften; og til det formål vil vi gjennomføre en forbrenning i litt større målestokk. Fra dette lyset stiger opphetet luft til værs, og to eller tre forsøk vil vise dere denne oppadgående strømmen; men for å gi dere et begrep om den mengden stoff som stiger opp på denne måten, vil jeg gjøre et forsøk hvorved jeg skal prøve å fange noen av produktene fra denne forbrenningen. Til dette formål har jeg her det gutter kaller en varmluftballong. Jeg bruker denne ballongen ganske enkelt som et slags mål på resultatet av den forbrenningen vi betrakter; og jeg har til hensikt å lage en flamme på en så enkel og grei måte som best mulig kan tjene mitt nåværende formål. Dette fatet skal være lysets «skål», kan vi si; denne spriten skal være vårt brensel; og jeg skal plassere dette glassrøret over det, fordi det er bedre for meg å gjøre det enn å la tingene gå over styr på måfå.

Demonstrasjon F2-D24: Varmluftballong oppstilt over spritbrenner og glasskorstein

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «For this purpose I have here what boys call a fire-balloon. I use this fire-balloon merely as a sort of measure of the result of the combustion we are considering»

Sikkerhet for barn: Bruk av brennende sprit på fat og stor glasskorstein for å fylle en varmluftballong innendørs. Åpen spritflamme i stort volum innebærer akutt brannfare og skal aldri tennes i hjemmet.

> Merknad: **Etter 1861.** Varm luft har lavere tetthet enn kald luft. I henhold til Arkimedes' lov opplever ballongen en oppdriftskraft lik vekten av den fortrengte kjølige luften. Når luften inne i ballongen varmes opp av forbrenningsgassene, blir den samlede vekten av ballongen og den varme gassen mindre enn den omgivende luften, og den stiger til værs.

> Figur: **Figur F2-D24.** Varmluftballong oppvarmet av spritbrenner under glasskorstein for å fange opp forbrenningsprodukter.

> *Figur F2-D24 (Fig. 10): Varmluftballong og spritbrenner under glasskorstein. Sikkerhetsmerke: Se, ikke prøv.*

Herr Anderson vil nå tenne brenselet, og her oppe ved toppen vil vi få resultatene av forbrenningen. Hva vi får ved toppen av dette røret er, allment talt, nøyaktig det samme som dere får fra forbrenningen av et stearinlys; men vi får ingen lysende flamme her, fordi vi bruker et stoff som er fattig på karbon. Jeg har til hensikt å sette denne ballongen — ikke i virksomhet for sin egen del, for det er ikke mitt formål — men for å vise dere virkningen som følger av handlingen til disse produktene som stiger opp fra lyset, slik de stiger opp her fra ovnen. [Ballongen ble holdt over skorsteinen, hvorpå den straks begynte å fylles.] Dere ser hvordan den er tilbøyelig til å stige; men vi må ikke slippe den opp, for den kunne komme i berøring med gassblussene oppunder taket, og det ville være høyst ubekvemt. [De øvre gassblussene ble slukket etter anmodning fra foreleseren, og ballongen fikk stige opp.] Viser ikke det dere for en veldig mengde materie som utvikles? Nå passerer det gjennom dette røret [plasserer et stort glassrør over et lys] alle produktene fra dette lyset, og dere vil om et øyeblikk se at røret vil bli fullstendig ugjennomsiktig. Sett at jeg tar et annet lys og setter det under en glassklokke, og deretter setter et lys på den andre siden, bare for å vise dere hva som foregår. Dere ser at sidene på klokken blir uklare, og lyset begynner å brenne svakt. Det er produktene, ser dere, som gjør lyset så svakt, og dette er det samme som gjør sidene på klokken så ugjennomsiktige. Hvis dere går hjem og tar en skje som har ligget i den kalde luften, og holder den over et lys — ikke så nær at den sotes til — vil dere oppdage at den blir uklar og dugget, akkurat slik denne klokken er uklar. Får dere tak i et sølvfat eller noe lignende, vil dere gjøre forsøket enda bedre. Og nå, bare for å la tankene deres løpe i forveien til neste gang vi møtes, la meg fortelle dere at det er vann som forårsaker denne uklarheten; og når vi møtes neste gang, skal jeg vise dere at vi uten vanskelighet kan få det til å anta form av en flytende væske.

Demonstrasjon F2-D25: Varmluftballong stiger til taket i forelesningssalen

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «The upper gas-lights were turned out, at the request of the Lecturer, and the balloon was allowed to ascend.»

Sikkerhet for barn: Varmluftballong fylt over åpen spritflamme som slippes fri innendørs mot gassbelysning i taket. Akutt brannfare ved enhver feilretting. Kun for historisk beretning.

Demonstrasjon F2-D26: Glassrør over lyset dugges til av forbrenningsvann

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Now, there is going through this tube [placing a large glass tube over a candle] all the products of that candle, and you will presently see that the tube will become quite opaque.»

Sikkerhet for barn: Glassrør holdes vertikalt over en tent lysflamme. Røret blir fuktig av kondens og glasset blir raskt varmt; krever voksentilsyn.

Demonstrasjon F2-D27: Kondens og dugging på innsiden av glassklokke over tent lys

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Suppose I take another candle, and place it under a jar, and then put a light on the other side, just to shew you what is going on. You see that the sides of the jar become cloudy»

Sikkerhet for barn: Glassklokke over brennende lys fanger opp damp som dugger på det kjøligere glasset. Varmt glass; utføres sammen med en voksen.

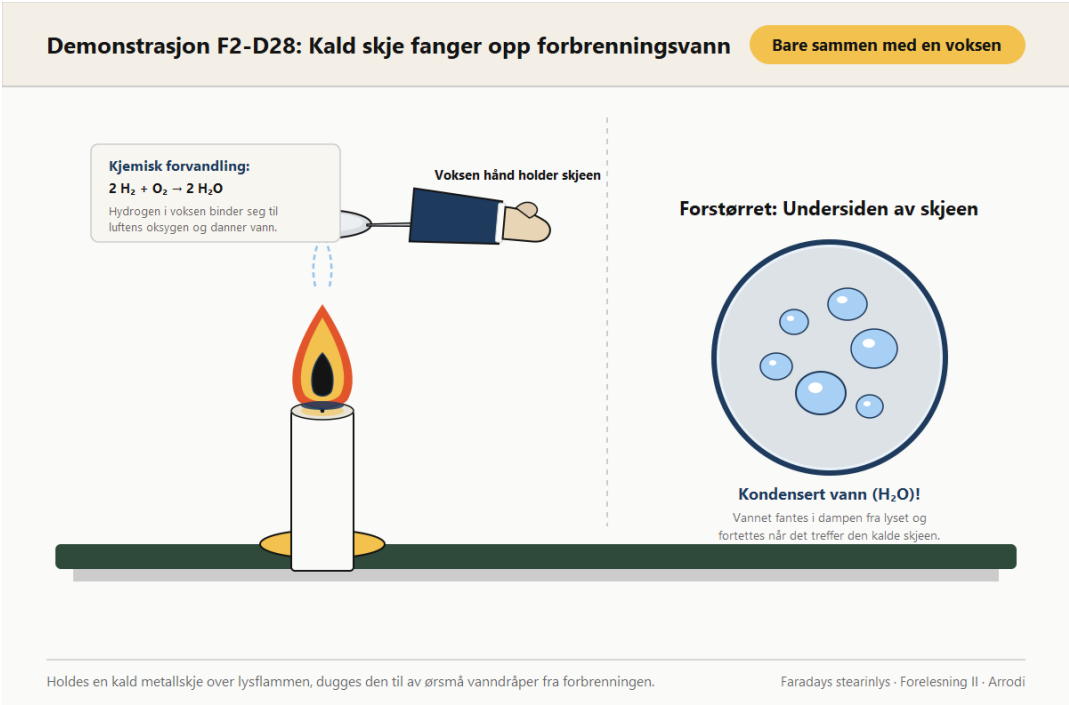
Demonstrasjon F2-D28: Kald metallskje holdt over flammen fanger opp vanndråper

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «If you go home and take a spoon that has been in the cold air, and hold it over a candle--not so as to soot it--you will find that it becomes dim»

Sikkerhet for barn: En kald spiseskje av metall holdes noen centimeter over lysflammen slik at vanndamp kondenserer som dugg på undersiden. Holdes forsiktig sammen med en voksen for å unngå at skjeen sotes ned eller blir for varm.

> Figur: **Figur F2-D28.** Kald metallskje fanger opp vanndamp som dugg.



Figur F2-D28: Kald skje fanger opp kondenserte vanndråper fra lysflammen. Sikkerhetsmerke: Bare sammen med en voksen.

Merknad: **Etter 1861.** Voks består av hydrokarboner ($C_n H_{2n+2}$). Når hydrogenatomene reagerer med luftens oksygen under forbrenningen, dannes det vann ($2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$) i form av overopphetet, usynlig vanndamp. Når dampen møter en kald metall- eller glassflate med temperatur under duggpunktet, kondenserer den til mikroskopiske flytende vanndråper. Et vanlig stearinlys danner faktisk mer enn sin egen vekt i vann under forbrenningen, fordi hvert vannmolekyl tar opp et tungt oksygenatom fra luften.

Forelesning III: Produkter — Vann fra forbrenningen, vannets natur, en forbindelse, hydrogen

Dere husker sikkert at da vi skiltes forrige gang, hadde vi nettopp nevnt ordet «produkter» fra stearinlyset. For når et lys brenner, oppdaget vi at vi ved nøyaktig tilpasning var i stand til å vinne ut ulike produkter fra det. Det var ett stoff som ikke oppsto når lyset brant som det skulle, nemlig trekull eller sot; og det var et annet stoff som steg oppover fra flammen, og som ikke trådte fram som røyk, men antok en annen form og utgjorde en del av den allmenne luftstrømmen som stiger opp fra lyset, blir usynlig og slipper unna.

Det var også andre produkter å nevne. Dere husker at i denne oppadstigende strømmen som har sitt opphav ved lyset, fant vi at én del lot seg kondensere mot en kald skje, eller mot en ren tallerken eller en hvilken som helst annen kald gjenstand, mens en annen del ikke lot seg kondensere.

Vi skal først ta for oss den kondenserbare delen og undersøke den; og merkelig nok oppdager vi at denne delen av produktet er ganske enkelt vann — intet annet enn vann. Forrige gang talte jeg om dette i forbigående, og sa bare at vann ble dannet blant lysets kondenserbare produkter; men i dag ønsker jeg å henlede oppmerksomheten deres på vann, slik at vi kan undersøke det nøyaktig, særlig i tilknytning til vårt emne, og likeledes med hensyn til dets allmenne forekomst på jordens overflate.

> Merknad: **Etter 1861.** Vann (H_2O) oppstår når hydrogenet i stearinvoksen forbrenner i luftens oksygen ($2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$). Ved romtemperatur kondenserer vanndampen til væske, i motsetning til den andre gassen fra forbrenningen, karbondioksid (CO_2), som forblir i gassform under vanlige atmosfæriske forhold.

Ettersom jeg på forhånd har innrettet et forsøk i den hensikt å kondensere vann fra lysets produkter, vil mitt neste poeng være å vise dere dette vannet; og et av de beste midlene jeg kan gripe til for å vise dets nærvær for så mange på én gang, er å fremvise en ytterst synlig reaksjon med vann, og deretter anvende denne prøven på det som har samlet seg som en dråpe under bunnen av dette karet.

Jeg har her et kjemisk stoff, oppdaget av sir Humphry Davy, som har en overmåte kraftig virkning på vann, og som jeg skal bruke som en prøve på vannets nærvær. Tar jeg et lite stykke av det — det kalles kalium, ettersom det stammer fra pottaske — hvis jeg tar en liten bit av det og kaster det opp i denne skålen, ser dere hvordan det påviser vannets nærvær ved å antennes og flyte omkring, brennende med en voldsom flamme.

Jeg skal nå fjerne lyset som har stått og brent under karet med is og salt, og dere ser en vanndråpe — et kondensert produkt fra lyset — henge under overflaten av skålen.

Demonstrasjon F3-D01: Kalium brenner på vannflaten med fiolett flamme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «if I take a little piece of it, and throw it into that basin, you see how it shews the presence of water by lighting up and floating about, burning with a violent flame»

Sikkerhet for barn: Faradays historiske saldemonstrasjon av alkalimetallet kalium som reagerer spontant og voldsomt med vann. Reaksjonen utvikler brennende hydrogengass og etsende kalilut. Eksplosjons- og brannfare; strengt forbudt for barn.

Demonstrasjon F3-D02: Forbrenningsvann kondensert under avkjølt metallskål

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «I am now going to take away the candle which has been burning beneath the vessel containing ice and salt, and you see a drop of water»

Sikkerhet for barn: En metallskål med is og salt holdes over en brennende lysflamme for å fange opp kondensvann. Krever voksentilsyn ved håndtering over åpen ild med slukkevann på bordet.

> Merknad: **Etter 1861.** Sir Humphry Davy isolerte grunnstoffet kalium (K) ved elektrolyse av smeltet kaliumhydroksid (pottaske) i 1807. Kalium er et alkalimetall i gruppe 1 med atomnummer 19. Det avgir sitt enslige valenselektron så lett at metallet reagerer momentant og voldsomt med vann: $2K + 2H_2O \rightarrow 2KOH + H_2$. Reaksjonsvarmen er så intens at hydrogengassen antennes i luften, og fordamper spor av kaliumatomer som farger flammen karakteristisk fiolett.

Jeg skal vise dere at kalium har nøyaktig samme virkning på denne dråpen som på vannet i skålen i forsøket vi nettopp utførte. Se, det fanger ild og brenner på ganske samme vis. Jeg tar en annen dråpe på denne glassplaten, og når jeg legger kaliumet bortpå, ser dere straks ut fra at det fanger ild, at det er vann til stede. Og dette vannet ble frembrakt av stearinlyset.

På samme måte, dersom jeg setter denne spritlampen under den glassklokken der, vil dere snart se at klokken blir fuktig av duggen som avsetter seg på den — og denne duggen er resultatet av forbrenning; og jeg tviler ikke på at dere innen kort tid vil se av vanndråpene som faller ned på papiret under, at det dannes en betydelig mengde vann fra lampens forbrenning. Jeg lar den stå, så kan dere etterpå se hvor mye vann som har samlet seg.

Likeså, dersom jeg tar en gasslampe og plasserer en kjøleinnretning over den, vil jeg få vann — ettersom vann likeledes dannes ved forbrenning av gass. Her i denne flasken er det en mengde vann — fullkomment rent, destillert vann, frembrakt ved forbrenningen av en gasslampe — som ikke på noe punkt skiller seg fra vannet dere destillerer fra en elv, et hav eller en kilde, men er nøyaktig det samme stoffet.

Vann er ett bestemt stoff — det forandrer seg aldri i sitt vesen. Vi kan tilføre det stoffer for en liten stund ved varsom tilblanding, eller vi kan spalte det og hente andre ting ut av det; men vann forblir som vann alltid det samme, enten det opptrer i fast, flytende eller gassformig tilstand.

Her igjen [holder opp en annen flaske] er litt vann dannet ved forbrenningen av en oljelampe. En pint olje, når den brennes redelig og ordentlig, danner faktisk noe mer enn en pint vann. Her er likeledes vann samlet opp gjennom et nokså langvarig forsøk med et vokslys. Og slik kan vi fortsette med nesten alle brennbare stoffer, og oppdage at dersom de brenner med en flamme slik som et lys, frembringer de vann.

Dere kan prøve disse forsøkene selv. Hodet på en ildrake er en utmerket ting å prøve med, og dersom det holder seg kaldt lenge nok over lyset, kan dere få vann kondensert som dråper på det; eller en skje eller en øse, eller hva som helst annet, kan brukes, forutsatt at gjenstanden er ren og kan lede bort varmen, og således kondensere vannet.

Demonstrasjon F3-D03: Kalium antennes av kondensdråpen under skålen

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I will shew you that potassium has the same action upon it as upon the water in that basin in the experiment we have just tried»

Sikkerhet for barn: Kaliummetall berører vanndråpen og antennes momentant. Brann- og sprutfare; kun historisk laboratoriedemonstrasjon.

Demonstrasjon F3-D04: Kalium antennes på vanndråpe på glassplate

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I will take another drop upon this glass slab, and when I put the potassium on to it, you see at once, from its taking fire, that there is water present»

Sikkerhet for barn: Alkalimetall plassert på en glassplate antenner umiddelbart og kan knuse glasset eller slynge ut etsende rester. Forbudt for barn.

Demonstrasjon F3-D05: Spritlampe kondenserer vann under glassklokke

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «if I put this spirit-lamp under that jar, you will soon see the latter become damp, from the dew which is deposited upon it»

Sikkerhet for barn: Åpen brennende spritflamme under glassbeholder innebærer brennbar væske og overopphetet glass med sprekkerisiko. Kun faglærerforsøk.

Demonstrasjon F3-D06: Gassflamme med kjøleinnretning samler destillert vann

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «So, if I take a gas-lamp, and put any cooling arrangement over it, I shall get water»

Sikkerhet for barn: Forbrenning av brenngass i laboratoriearmatur med overbygd kjøleapparat. Brenngass og hete overflater medfører brannfare under regel D.

Demonstrasjon F3-D07: Fremvisning av prøveflasker med forbrenningsvann

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Here, in this bottle, is a quantity of water—perfectly pure, distilled water, produced from the combustion of a gas-lamp»

Sikkerhet for barn: Fremvisning av lukkede prøveflasker med rent forbrenningsvann. Ingen varme eller åpen ild under selve granskingen; studeres sammen med en voksen.

Demonstrasjon F3-D08: Kald ildrake eller metallskje fanger opp vanndråper

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «The head of a poker is a very good thing to try with, and if it remains cold long enough over the candle, you may get water condensed in drops on it; or a spoon or ladle»

Sikkerhet for barn: En kald ildrake eller spiseskje holdes over en enkelt lysflamme slik at fuktighet kondenserer på metallet. Metall leder varme raskt; må utføres forsiktig sammen med en voksen med vann stående parat.

> Merknad: **Etter 1861.** Faraday observerer korrekt at forbrenning av olje eller voks gir mer vann enn brenselets opprinnelige vekt. Årsaken er at hvert hydrogenatom (H, atommasse 1) under forbrenningen binder seg til et oksygenatom (O, atommasse 16) fra luften. Siden vann (H_2O) består av to hydrogenatomer og ett oksygenatom, utgjør oksygenet nesten 89 % av vannets vekt, og dette oksygenet hentes utenfra fra den omgivende luften.

Og nå — for å trenge inn i historien om denne forunderlige dannelsen av vann fra brennbare stoffer og fra stearinlyset — hvordan blir dette vannet til? Et lys består av fett, og fett består av talg, eller voks, eller spermasett, eller stearin, eller hva det måtte være; og hvor kommer vannet fra? Vi har undersøkt lyset og funnet at det ikke inneholder noe vann i seg selv.

Og dere vet godt at en vanndråpe i lysets flytende skål ville få flammen til å sprake og sprute. Vannet finnes altså ikke ferdig dannet i lyset; det må bli frembrakt under selve forbrenningsprosessen på en eller annen måte.

Først og fremst: Når vann er på sitt kaldeste, er det is. Vi naturforskere — jeg håper jeg i dette tilfellet kan regne dere og meg sammen — taler om vann som vann, enten det befinner seg i fast, flytende eller gassformig tilstand; vi omtaler det kjemisk som vann. Vann er et stoff sammensatt av to substanser, hvorav vi har utvunnet den ene fra stearinlyset, mens vi skal finne den andre et annet sted.

Vann kan opptre som is; og dere har i det siste hatt ypperlige anledninger til å se dette. Is forvandles tilbake til vann — for vi hadde sist søndag et slående eksempel på denne forvandlingen ved det sørgelige uhellet med sprukne vannrør i vårt eget hus, så vel som i husene til mange av våre venner. Is smelter tilbake til vann når temperaturen heves; og vann forvandles likeledes til damp når det varmes tilstrekkelig opp.

Vannet vi har her foran oss, befinner seg i sin tetteste tilstand, og skjønt det endrer tilstand, form og mange andre egenskaper, er det fremdeles vann. Og enten vi forvandler det til is ved avkjøling, eller forvandler det til damp ved oppvarming, øker det i volum — i det ene tilfellet på overmåte merkelig og kraftfullt vis, og i det andre tilfellet i veldig og forunderlig målestokk.

For eksempel skal jeg nå ta denne tinnsylinderen og helle en smule vann i den; og når dere ser hvor mye vann jeg heller i, kan dere lett anslå for dere selv hvor høyt det vil stå i karet: Det dekker bunnen et par tommer opp. Jeg har til hensikt å forvandle dette vannet til damp, i den hensikt å vise dere de ulike volumene vannet opptar i sine forskjellige tilstander som væske og damp.

Demonstrasjon F3-D09: Vann opphetes i tinnsylinder til koking

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «For instance, I will now take this tin cylinder, and pour a little water into it; and seeing how much water I pour in, you may easily estimate for yourselves how high it will rise in the vessel»

Sikkerhet for barn: Vann varmes opp i en tinnsylinder over en varmekilde til det koker. Varmt metall, kokende vann og damp medfører skåldingsfare; må kun ledes av en voksen.

> Merknad: **Etter 1861.** Flytende vann har sin maksimale tetthet ved 3,98 °C (omtrent 4 °C), der det veier nøyaktig 1,000 g/cm³. Når vann avkjøles videre fra 4 °C ned mot frysepunktet ved 0 °C, utvider det seg svakt, og idet det fryser til fast is, utvider det seg med hele 9 % fordi vannmolekylene ordner seg i et åpent, heksagonalt krystallgitter med hulrom mellom hydrogenbindingene.

La oss nå ta for oss tilfellet hvor vann forvandles til is: Vi kan bevirke det ved å avkjøle vannet i en blanding av salt og is; og jeg har her stilt opp store forberedelser av dette slaget for å vise dere virkningene av denne frysingen.

Her er noen flasker laget av tykt støpejern, overmåte sterke, med en god halv tommes godstykkelse, og langt sterkere enn denne tinnsylinderen. Her har jeg et kar med en blanding av is og salt; og virkningen av denne blandingen er å bringe vannet inne i støpejernsflaskene til å fryse.

Når det befinner seg vann i en slik flaske, og jeg lukker den forsvarlig og setter den ned i denne kuldeblandingen, forandrer vannet volum på dette ekstraordinære viset.

Demonstrasjon F3-D10: Støpejernsflasker med vann forsegles i kuldeblanding

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have put our iron bottles containing water into this freezing mixture»

Sikkerhet for barn: Tykke støpejernsflasker fylles med vann, plugges igjen og settes i kuldeblanding. Sprengtrykket når vannet fryser kan knuse tykt støpejern med voldsom kraft; kun historisk laboratorieforsøk.

> Merknad: **Etter 1861.** Kuldeblandingen av knust is og koksalt ($NaCl$) kan nå temperaturer ned mot -21 °C. Fordi isens tetthet (0,917 g/cm³) er lavere enn vannets, krever fryseprosessen mer plass. Dersom vannet er sperret inne i et lukket volum uten rom for ekspansjon, genererer fasovergangen et hydrostatisk sprengtrykk på opptil 2000 atmosfærer (200 megapascal), noe som lett sprenger selv centimeter-tykke støpejernskuler.

Se i mellomtiden på den forandringen som har funnet sted i vannet som vi har tilført varme — det er i ferd med å miste sin flytende tilstand. Dere kan se dette ut fra to eller tre omstendigheter.

Jeg har dekket åpningen på denne glasskolben, hvor vannet koker, med et urglass. Ser dere hva som skjer? Det klaprer i vei som en ventil, fordi dampen som stiger opp fra det kokende vannet støter ventilen opp og ned, og tvinger seg ut, og slik får det til å slamre taktfast.

Dere forstår lett at kolben er ganske full av damp, ellers ville den ikke tvinge seg ut på dette viset. Dere ser likeledes at kolben inneholder et stoff som opptar et langt større rom enn det opprinnelige vannet, for dampen fyller hele kolben gang på gang, og blåser ut i luften; og likevel kan dere ikke se noen merkbar reduksjon i vannmengden i bunnen, hvilket viser dere at volumøkningen er overmåte stor når vann forvandles til damp.

Demonstrasjon F3-D11: Klaprende urglass som dampventil over kokende vann

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «It rattles away like a valve chattering, because the steam rising from the boiling water sends the valve up and down, and forces itself out»

Sikkerhet for barn: Kokende vann i glasskolbe dekket av et løst urglass som rister av damptrykket. Varm damp og kokende vann medfører skåldingsfare og glasset kan sprekke; krever voksentilsyn.

Jeg har satt våre støpejernsflasker med vann ned i denne kuldeblandingen, for at dere likeledes skal få se hva som skjer ved forvandlingen til is. Det vil finne sted en varmeutveksling mellom vannet og kuldeblandingen; og dersom vi lykkes — og vi frembringer rikelig med is — vil vi få se for en ekstraordinær ting vannets utvidelse er.

Se nå på vannet i denne tinnsylinderen. Det koker, og vi skal snart se at vi kan få litt flytende vann tilbake fra det i rett tid, ved å ta dette bøyde røret (fig. 12) og holde et kaldt glass over dampstrømmen.

Demonstrasjon F3-D12: Kaldt glass fanger opp dampstrøm fra tinnkar

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «And if we take a glass, or any other cold thing, and hold it over this steam, see how soon it gets damp with water; it will condense it until the glass is warm»

Sikkerhet for barn: Et kaldt glass holdes inn i strømmen av vanndamp for å kondensere dråper. Varm damp kan brenne huden og glasset varmes hurtig opp; utføres sammen med en voksen.

For å vende tilbake til varmens virkning på vann: Se for en strøm av damp som veller ut av dette tinnkaret! Dere forstår at vi må ha fylt karet fullstendig med damp for at den skal strømme ut i slike mengder. Og nå, ettersom vi kan forvandle vann til damp ved varme, forvandler vi det tilbake til flytende vann ved å tilføre kulde.

Holder vi et glass eller en annen kald gjenstand inn i denne dampen, ser dere hvor fort det dugges til av fuktighet; det vil kondensere dampen inntil glasset blir varmt — og vannet renner nå nedover sidene på det.

Jeg har her et annet forsøk for å vise kondensasjonen av vann fra damptilstand tilbake til flytende tilstand, på ganske samme vis som dampen fra stearinlyset ble kondensert mot undersiden av skålen og utvunnet i form av vann. For å vise dere hvor fullstendig denne forvandlingen er, tar jeg denne tinnkolben, som nå er full av damp, og lukker skrukorken i toppen. Vi skal se hva som skjer når vi bringer denne dampen til å vende tilbake til væsketilstand ved å helle kaldt vann over utsiden.

[Foreleseren helte det kalde vannet over beholderen, hvorpå den øyeblikkelig klappet sammen.] Dere ser hva som hendte! Dersom jeg hadde skrudd igjen proppen og fortsatt å tilføre varme, ville dampen ha sprengt karet utover; men når dampen kondenserer tilbake til flytende vann, klapper beholderen sammen innover, fordi det oppstår et tomrom — et undertrykk — på innsiden ved dampens kondensasjon.

Jeg viser dere disse forsøkene i den hensikt å understreke at i alle disse hendelsene er det ingenting som forvandler vannet til noe annet stoff — det forblir fremdeles vann. Beholderen tvinges til å gi etter, og knuses innover av det ytre atmosfæriske lufttrykket, akkurat som den ved fortsatt oppvarming ville ha blitt sprengt utover.

Demonstrasjon F3-D13: Tinnkolbe knuses av lufttrykk ved avkjøling (implosjon)

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «We shall see what takes place when we cause this water or steam to return back to the fluid state by pouring some cold water on the outside. [The Lecturer poured the cold water over the vessel, when it immediately collapsed.]»

Sikkerhet for barn: En dampfylt metallkolbe forsegles og overskylles med kaldt vann slik at den brått knuses innover av det ytre lufttrykket. Fare for klem- og kuttskader samt skålding; kun historisk laboratoriedemonstrasjon.

> Merknad: **Etter 1861.** Tinnbeholderens dramatiske sammenklapping (implosjon) skyldes atmosfærens vekt. Ved havnivå utøver luften et trykk på omtrent 101,3 kPa (omtrent 1 kg per kvadratcentimeter). Når 1 liter vanndamp inne i den lukkede kolben avkjøles og kondenserer til knapt 0,6 milliliter vann, faller trykket inne i beholderen dramatisk mot et nesten fullstendig vakuum, og det ytre lufttrykket knuser metallveggene momentant.

Og hva tror dere volumet av dette vannet er når det antar damptilstand? Dere ser denne klossen [peker på en modell av én kubikkfot]. Like ved siden av står det en kubikktomme, nøyaktig samme fasong som kubikkfoten; og denne lille kubikktommen med flytende vann blir forvandlet til hele denne kubikkfoten med damp!

Derfor ble tinnkolben knust inn og klemt flat: fordi den lille skvetten med vann inne i den hadde utvidet seg til å fylle hele rommet, og da den ble avkjølt, måtte den kondensere tilbake til en brøkdels kubikktomme, slik at det ikke lenger var noen damp til å bære imot, hvorpå atmosfæren knuste veggene i karet.

La oss nå ta for oss den andre forvandlingen, fra vann til is. Jeg fortalte dere at vann utvider seg i volum når det fryser — skjønt ikke i samme veldige grad som ved overgang til damp, men like fullt i betydelig monn; og vi har her forsøkene som skal vise dette for dere.

Demonstrasjon F3-D14: Klossmodeller for kubikktomme vann og kubikkfot damp

[Prøv hjemme]

Kildeanker: «There, by its side, is a cubic inch, exactly the same shape as the cubic foot, and that bulk of water»

Sikkerhet for barn: Sammenligning av to geometriske modeller i tre eller papp for å forstå volumforskjellen mellom flytende vann og gass. Helt trygt og lærerikt å utføre hjemme.

[En av støpejernsflaskene eksploderte i samme øyeblikk.] Se der! Der sprakk en av våre flasker, og her er sprekken! Vannets utvidelse der inne har sprengt flasken i to deler, løftet av jernhetten og kastet den til side.

Kreftene har flenget jernet og frosset vannet; og dette har skjedd utelukkende ved vannets egen kraft idet det utvider seg. Her er bruddflaten i jernet, og her er splintene fra jernflasken, og der inne ser dere isen — skjønt dere kan knapt skjelne isen på grunn av den hvite frosten fra kuldeblandingen.

Eksplosjonen slynget kuldeblandingen utover slik at alt ser ut som snø; men dere ser at flasken er sprengt tvers av, og at dette utelukkende skyldes frysingen.

Demonstrasjon F3-D15: Støpejernsflaske sprengt i stykker av isens utvidelseskraft

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «[One of the iron bottles burst at that moment.] Ah! There is one of our bottles burst»

Sikkerhet for barn: Faradays historiske demonstrasjon der en tykkvegget støpejernsbeholder sprenges med et smell av isens frostsprengning. Metallsplinter og kuldeblanding kastes ut i rommet. Livsfarlig for barn; kun til historisk beretning.

La oss vende tilbake til vår rolige naturfilosofi. Vi skal heretter aldri la oss villede av de forandringene som finner sted i vann. Vann er vann; og dersom dere forandrer dets tilstand, skjer det ikke slik at det slutter å være vann.

Varme vil endre dets volum, men varme vil ikke forvandle vannet til et annet kjemisk stoff. Dere kan omdanne det til damp, men det er ikke omdannet til noe annet enn vann; dere kan kondensere det tilbake til vann. Dere kan forvandle det til is, men dere gjør det ikke om til et stoff som gir andre bestanddeler fra seg enn vann; det er fremdeles vann.

Vi har nå sett disse to fysiske tilstandsendringene; la oss nå undersøke den tredje forandringen, som ikke beror på hete eller kulde, men på kjemien.

Jeg tror dere kan nærme dere saken på denne måten: Vi hadde nettopp foran oss et stoff som virket på vannet slik sir Humphry Davy lærte oss, og som jeg nå skal minne dere om ved på ny å utføre et forsøk i denne skålen. Det er et stoff vi må håndtere med den største varsomhet, for dersom jeg lar en ørliten vannsprut treffe denne massen, tar en del av den fyr; og var det fri lufttilgang, ville hele stykket straks antennes.

Dette er et metall — et vakkert, skinnende metall — som forandrer seg hurtig i luft, og som forandrer seg overmåte raskt i vann. Jeg legger et stykke på vannet, og dere ser at det brenner vakkert og danner en flytende lampe, idet det bruker vannet i stedet for luft.

Dersom vi på den annen side tar noen jernspon eller metallfliser og legger dem i vann, oppdager vi at de likeledes gjennomgår en forandring. De forandrer seg ikke på langt nær så hurtig som kalium, men de forandrer seg på lignende vis: De ruster, og viser en kjemisk virkning på vannet, om enn med en helt annen grad av intensitet enn dette vakre metallet gjør; men de virker på vannet på grunnleggende samme måte som kalium. Jeg vil at dere skal sette disse ulike kjensgjerningene sammen i tankene deres.

Jeg har et annet metall her [sink], og da vi tidligere undersøkte det faste stoffet som oppsto ved dets forbrenning, så vi at det brant. Holder jeg en tynn strimmel av denne sinken inn i lysflammen, ser dere noe som befinner seg midt imellom forbrenningen av kalium på vannet og jernets langsomme reaksjon — dere ser en form for forbrenning. Det brenner og etterlater en hvit aske, og også her oppdager vi at metallet har en viss kjemisk virkning på vann.

Demonstrasjon F3-D16: Kalium brenner som en flytende fiolett flamme på vannflaten

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I will put a piece on the water, and you see it burns beautifully, making a floating lamp, using the water in the place of air.»

Sikkerhet for barn: Kaliummetall reagerer voldsomt med vann under utvikling av selvantennende hydrogengass. Etsende lut dannes i vannet. Brann- og sprutfare; strengt forbudt for barn.

Demonstrasjon F3-D17: Jernspon ruster langsomt i et glass vann

[Prøv hjemme]

Kildeanker: «if we take a few iron filings or turnings, and put them in water, we find that they likewise undergo an alteration»

Sikkerhet for barn: Jernspon eller vanlige jernspikre legges i et glass kaldt vann for å observere rustdannelse over dager. Helt ufarlig kjemisk langtidsobservasjon for barn i hjemmet.

Demonstrasjon F3-D18: Tynn sinkstrimmel brenner i flamme til hvit sinkoksidaske

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «and I suppose, if I take a little strip of this zinc and put it over the candle, you will see something half-way»

Sikkerhet for barn: Forbrenning av sinkmetall over åpen flamme med utvikling av hete metalloksidgasser. Forbudt for barn under regel D.

Gradvis har vi lært hvordan vi kan tilpasse disse ulike stoffenes virkemåte, slik at de forteller oss nøyaktig hva vi ønsker å få vite. Og nå tar jeg først for meg jern. Det er en alminnelig erfaring i kjemiske reaksjoner at reaksjonshastigheten øker ved varmens påvirkning; og dersom vi nøye vil undersøke hvordan stoffer virker på hverandre, må vi ofte ty til varme.

Dere vet at jernspon brenner vakkert i luft; men jeg skal vise dere et forsøk av dette slaget, fordi det vil prege inn i dere det jeg straks skal si om jernets virkning på vann.

Dersom jeg tar en gassflamme og gjør den hul — dere forstår hvorfor: fordi jeg vil ha luft både omkring den og inn i midten av den, og derfor gjør jeg den hul — og deretter tar litt jernspon og drysser det inn i flammen, ser dere hvor gnistrende det brenner. Denne forbrenningen skyldes den kjemiske reaksjonen som foregår når vi tenner disse små metallpartiklene.

Og slik går vi videre til å betrakte disse ulike virkningene, og bringe på det rene hva jern utretter når det møter vann. Det vil fortelle oss historien så vakkert, så jevnt og regelmessig, at jeg tror det vil glede dere stort.

Demonstrasjon F3-D19: Jernspon drysses inn i hul gassflamme og brenner med gnistsverm

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «and then take a few iron-filings and drop them into the flame, you see how well they burn»

Sikkerhet for barn: Finfordelt metallpulver drysses ned i en stor åpen gassflamme med kraftig gnistregn og brannfare. Kun laboratoriedemonstrasjon.

> Merknad: **Etter 1861.** Når jernspon brenner i luft eller vanndamp, reagerer jernet (Fe) med oksygen under dannelse av jernoksider (Fe_2O_3 og Fe_3O_4). Finfordelt metallpulver har et enormt overflateareal i forhold til massen, slik at reaksjonen med luftens oksygen foregår øyeblikkelig med intens varme- og lysutvikling (pyrofor effekt).

Jeg har her en laboratorieovn med et rør tvers igjennom som ligner et geværløp av jern; og jeg har stappet dette løpet fullt av blanke jernspon og lagt det tvers over ilden for at det skal bli rødglødende.

Vi kan enten sende luft gjennom røret slik at den kommer i berøring med det glødende jernet, eller vi kan lede inn damp fra denne lille dampkjelen ved enden av røret. Her er en stengekran som stenger dampen ute inntil vi ønsker å slippe den inn.

Det finnes vann i disse glassklokkene, som jeg har farget blått med litt fargestoff for at dere tydelig skal se hva som skjer. Nå vet dere så altfor vel at enhver vanndamp jeg måtte sende gjennom dette røret, ville kondensere dersom den nådde det kalde vannet i glasskarene; for dere har sett at damp ikke kan bevare sin gassform når den avkjøles.

Demonstrasjon F3-D20: Rødglødende jernrør fylt med jernspon i ovn tilkoblet dampkjel

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here a furnace with a pipe going through it like an iron gun barrel, and I have stuffed that barrel full of bright iron-turnings»

Sikkerhet for barn: Rødglødende jernrør montert i kullfyrt ovn med trykksatt dampkjel. Ekstrem hete, trykkfare og forbrenningsgasser; kun historisk laboratoriedemonstrasjon.

Dere så det her [peker på tinnkolben] hvorledes den klappet sammen til et lite volum; så dersom jeg sendte damp gjennom røret, ville den kondensere — forutsatt at røret var kaldt. Røret er derfor opphetet til rødglød for å utføre forsøket jeg nå skal vise dere.

Jeg skal lede dampen gjennom det glødende røret i beherskede mengder; og dere skal dømme selv, når dere ser det strømme ut i den andre enden, om det fremdeles er vanndamp.

Damp lar seg kondensere til vann, og når dere senker temperaturen på damp, omdanner dere den tilbake til flytende vann; men jeg har senket temperaturen på gassen jeg har samlet opp i denne klokken ved å boble den gjennom kaldt vann etter at den har passert jernrøret, og likevel forvandles den ikke tilbake til vann.

La meg prøve en annen prøve på denne gassen. (Jeg holder glassklokken opp-ned, ellers ville stoffet unnslippe oppover.) Fører jeg nå en flamme til munningen av klokken, antennes den med et lite smell. Det forteller dere at dette ikke er vanndamp! Damp slukker ild — den brenner ikke; men dere så at stoffet i denne klokken brant. Vi kan vinne ut dette stoffet like gjerne fra vannet som oppsto fra lysflammen som fra en hvilken som helst annen vannkilde.

Når dette stoffet utvinnes ved jernets virkning på vanndampen, etterlater det jernet i en tilstand som ligner nokså mye på jernsponet etter at det var brent. Det gjør jernet tyngre enn det var før. Så lenge jernet ligger i røret og opphetes og avkjøles igjen uten tilgang på luft eller vann, endrer det ikke sin vekt; men etter at denne dampstrømmen har passert over det, kommer jernet ut merkbart tyngre, fordi det har tatt opp noe fra dampen, og latt noe annet slippe fri, som er det vi ser her.

Og nå som vi har en ny klokke full, vil jeg vise dere noe overmåte interessant. Dette er en brennbar gass; og jeg kunne straks tenne innholdet for å vise at det brenner; men jeg har til hensikt å vise dere mer. Det er likeledes et overmåte lett stoff. Damp vil kondensere: Dette stoffet vil stige til værs i luften, og aldri kondensere.

Demonstrasjon F3-D21: Vanndamp ledes over glødende jern og omdannes til brennbar gass

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I am going to send the steam through the barrel in small quantities; and you shall judge for yourselves, when you see it issue from the other end, whether it still remains steam»

Sikkerhet for barn: Spalting av overopphetet vanndamp over rødglødende metall til brennbar hydrogengass. Ekstrem hete og eksplosjonsfare under regel D; kun historisk laboratoriedemonstrasjon.

Demonstrasjon F3-D22: Oppsamlet gass i glassklokke antennes med smell

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If I now apply a light to the mouth of the jar, it ignites with a slight noise. That tells you that it is not steam.»

Sikkerhet for barn: Antenning av hydrogengass i glassbeholder med smell og fare for tilbakeslag og sprukket glass. Strengt forbudt for barn.

Demonstrasjon F3-D23: Jernsponet fra ovnsrøret undersøkes som tyngre jernoksid

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «When it is obtained by the action of the iron upon the aqueous vapour, it leaves the iron in a state very similar to that in which these filings were after they were burnt. It makes the iron heavier than it was before.»

Sikkerhet for barn: Håndtering og veiing av kjemisk omdannet reaksjonsmateriale fra en het ovn. Kun historisk observasjon.

> Merknad: **Etter 1861.** Reaksjonen mellom rødglødende jern og overopphetet vanndamp spalter vannmolekylene: $3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$. Jernet binder til seg oksygenet og omdannes til magnetitt (jern(II,III)oksid, Fe_3O_4), som er et tungt, mørkt magnetisk oksid. Dette forklarer hvorfor jernet øker med nøyaktig 38 % i vekt, mens hydrogenatomer (H_2) frigjøres som ren gass.

Sett at jeg tar en annen glassklokke, tom for alt annet enn luft: Dersom jeg undersøker den med et tent lys, oppdager jeg at den ikke inneholder annet enn vanlig luft.

Nå tar jeg denne klokken full av gassen jeg taler om, og behandler den som et stoff som er lettere enn luft. Jeg holder begge klokkene opp-ned, og vipper den ene opp under den andre; og hva inneholder nå den beholderen som opprinnelig rommet gassen utvunnet fra vanndampen? Dere vil oppdage at den nå bare rommer luft.

Men se her! Her er det brennbare stoffet [tar den andre klokken] som jeg har helt fra den ene beholderen over i den andre. Det bevarer fremdeles sine egenskaper, sin tilstand og sin uavhengighet, og er således desto mer verdig vår oppmerksomhet, ettersom det hører til stearinlysets egne produkter.

Demonstrasjon F3-D24: Hydrogengass helles oppad fra én klokke til en annen og antennes

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is the combustible substance [taking the other jar] which I have poured out of the one jar into the other. It still preserves its quality»

Sikkerhet for barn: Helling av brennbar gass oppover mellom åpne glassbeholdere etterfulgt av antenning. Eksplosjons- og brannfare; forbudt for barn under regel D.

Dette stoffet som vi nettopp har fremstilt ved jernets virkning på dampen eller vannet, kan vi likeledes frembringe ved hjelp av de andre stoffene som dere allerede har sett virke så godt på vann.

Tar jeg et stykke kalium og gjør de nødvendige innretninger, vil det utvikle denne gassen; og tar jeg i stedet et stykke sink, finner jeg ved nøyere undersøkelse at hovedgrunnen til at sink ikke kan virke uavbrutt på vannet slik som kalium, er at reaksjonen med vannet kler sinken inn i et slags beskyttende belegg.

Vi har følgelig lært at dersom vi bare har sink og vann i karet vårt, gir de i seg selv liten reaksjon, og vi oppnår intet resultat. Men sett at jeg fjerner dette belegget — dette hemmende sjiktet — hvilket jeg kan gjøre med litt syre: I samme øyeblikk som jeg gjør dette, oppdager jeg at sinken virker på vannet nøyaktig slik jernet gjorde, men ved alminnelig romtemperatur!

Syren forandres ikke på annet vis enn ved sin forening med sinkoksidet som dannes. Jeg har nå helt syren opp i glasset, og virkningen er som om jeg tilførte hete for å fremkalle denne kokingen. Det stiger opp noe i rik mengde fra sinken som ikke er vanndamp.

Her er en klokke full av det; og dere vil oppdage at jeg har nøyaktig samme brennbare stoff i beholderen, når jeg holder den opp-ned, som det jeg frembrakte under forsøket med jernrøret. Dette er hva vi vinner ut av vann — det samme stoffet som finnes i stearinlyset.

Demonstrasjon F3-D25: Fortynnet syre tilsettes sink og vann for gassutvikling

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «But suppose I proceed to dissolve off this varnish—this encumbering substance—which I can do by a little acid; the moment I do this, I find the zinc acting upon the water exactly as the iron did»

Sikkerhet for barn: Sterk etsende syre helles over metall i glasskar for å starte en kjemisk reaksjon med utvikling av brennbar gass. Etseskader og brannfare; strengt forbudt for barn.

Demonstrasjon F3-D26: Hydrogengass samles opp over vann i pneumatisk klokke

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «There is something coming off from the zinc very abundantly, which is not steam. There is a jar full of it; and you will find that I have exactly the same combustible substance remaining in the vessel»

Sikkerhet for barn: Oppsamling og lagring av ren hydrogengass over vannbad fra syrereaksjon. Gasslekkasje og eksplosjonsrisiko; forbudt for barn under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Sink (Zn) i rent vann danner en passiverende hinne av uløselig sinkhydroksid ($Zn(OH)_2$) som bremser videre reaksjon. Når fortynnet svovelsyre (H_2SO_4) tilsettes, løses denne hinnen opp, og sinkatomene reagerer med syrens hydroniumioner under dannelse av sinksulfat i løsning og ren hydrogengass: $Zn(s) + H_2SO_4(aq) \rightarrow ZnSO_4(aq) + H_2(g)$.

La oss nå tydelig spore forbindelsen mellom disse to punktene. Dette er hydrogen — et stoff klassifisert blant dem vi i kjemien kaller grunnstoffer eller elementer, fordi vi ikke kan hente noen andre enklere stoffer ut av dem.

Et stearinlys er ikke et grunnstoff, for vi kan utvinne karbon fra det; vi kan utvinne dette hydrogenet fra det, eller i det minste fra vannet det danner. Og denne gassen har fått navnet hydrogen (vannstoff), fordi den er det grunnstoffet som i forening med et annet danner vann. [Fra gresk *hydor*, «vann», og *gennao*, «jeg frembringer».]

Herr Anderson har nå vært i stand til å fylle to eller tre klokker med gass, og vi skal utføre noen forsøk, og jeg vil vise dere den beste måten å gjøre disse forsøkene på. Jeg er ikke redd for å vise dere dette, for jeg ønsker at dere skal gjøre forsøk, så sant dere gjør dem med omhu, oppmerksomhet og med samtykke fra de voksne omkring dere. Etter hvert som vi trenger dypere inn i kjemien, blir vi nødt til å omgås stoffer som kan være skadelige dersom de havner på feil sted — syrene, heten og de brennbare stoffene vi bruker, kan gjøre skade om de behandles skjødesløst.

Dersom man vil fremstille hydrogen, lar det seg lett gjøre av biter av sink og svovelsyre eller saltsyre. Her er hva man i tidligere tider kalte «filosofenes lys». Det er en liten flaske med en kork, og et rør eller en dyse som fører igjennom den.

Demonstrasjon F3-D27: Filosofenes lys monteres med sink, kork og brennerrør

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is what in former times was called the “philosopher’s candle.” It is a little phial with a cork, and a tube or pipe passing through it.»

Sikkerhet for barn: Montering av hydrogengenerator i glassflaske med brennerrør. Dersom gassen antennes for tidlig oppstår akutt eksplosjonsfare; kun til historisk lesning.

> Merknad: **Etter 1861.** Navnet hydrogen ble skapt av Antoine Lavoisier i 1783 etter Henry Cavendishs oppdagelse av gassen i 1766. Hydrogen (H) er universets letteste og vanligste grunnstoff. Faraday oppfordrer sine unge tilhørere til å eksperimentere, men i dag vet vi at gassblandinger av hydrogen og luft er ekstremt eksplosive (knallgass). Under bokens strenge sikkerhetsregler for barn (regel D) er all fremstilling og antenning av hydrogengass merket **Se, ikke prøv**, og formidles utelukkende som historisk observasjon.

Jeg legger nå noen biter sink opp i flasken. Dette lille apparatet vil jeg benytte i demonstrasjonene våre. La meg fortelle dere hvorfor jeg er så omhyggelig med å fylle flasken nesten, men ikke helt full med vann.

Jeg gjør det fordi gassen som utvikles, som dere har sett er overmåte brennbar, er eksplosiv i betydelig grad når den blandes med luft. Det ville føre til ulykke dersom man førte en flamme bort til spissen av røret før all den vanlige luften var feid ut av rommet over vannet.

Jeg skal nå helle i svovelsyren. Jeg har brukt lite sink og rikelig med syre og vann, fordi jeg vil at apparatet skal arbeide jevnt over tid. Jeg passer på å avpasse mengdene slik at jeg får en jevn gasstrøm — ikke for rask og ikke for langsom.

Dersom jeg nå setter et lite prøveglass opp-ned over rørenden, forventer jeg at hydrogenet, ettersom det er så lett, vil samle seg i glasset. La oss nå teste innholdet for å se om luften er drevet ut. Jeg tror jeg trygt kan si at vi har fanget litt [fører en flamme borttil]. Der ser dere, et lite poff!

Nå tenner jeg gassen på toppen av røret. Der brenner hydrogenet! Der har vi vårt filosofiske lys. Det er en svak og nesten usynlig flamme, vil dere kanskje si; men den er så brennende het at knapt noen vanlig flamme avgir så intens varme. Den brenner jevnt, og jeg skal nå anbringe denne flammen under en særskilt innretning for å undersøke dens forbrenningsprodukter.

Ettersom stearinlyset danner vann, og denne gassen stammer fra vannet, la oss se hva hydrogenflammen gir oss gjennom den samme forbrenningen i atmosfæren. Til den hensikt setter jeg apparatet under en kjølesylinder for å kondensere alt som stiger opp fra ilden.

I løpet av kort tid vil dere se fuktighet dukke opp på innsiden av glasset, og vannet vil renne nedover sidene; og vannet fra denne hydrogenflammen har nøyaktig samme egenskaper og virkninger i alle våre prøver, ettersom det er frembrakt ved den samme allmenne forbrenningsprosessen.

Dette hydrogenet er et overmåte vakkert stoff. Det er så lett at det kan løfte gjenstander med seg opp: Det er langt lettere enn den omgivende atmosfæren; og jeg tør si at jeg kan vise dere dette gjennom et forsøk.

Her har vi vår hydrogengenerator, og her har vi såpevann. Jeg har en gummislange koblet til generatoren, og i enden av slangen sitter en krittpipe.

Demonstrasjon F3-D28: Svovelsyre tilsettes sink for jevn gassutvikling

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I am now about to pour in the sulphuric acid. I have used very little zinc, and more sulphuric acid and water, because I want to keep it at work for some time.»

Sikkerhet for barn: Svovelsyre reagerer kraftig med sink og produserer brannfarlig hydrogengass. Etsende syresprut og eksplosjonsfare; forbudt under regel D.

Demonstrasjon F3-D29: Gass i prøveglass over brennerrør antennes for renhetstest

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Supposing I now take a glass and put it upside-down over the end of the tube, because the hydrogen is light I expect that it will remain in that vessel a little while. We will now test the contents of our glass»

Sikkerhet for barn: Åpen flamme føres til prøveglass med hydrogenblanding for å kontrollere forbrenningen. Tilbakeslags- og eksplosjonsrisiko; forbudt for barn.

Demonstrasjon F3-D30: Hydrogenflammen antennes ved dysespissen (filosofisk lys)

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I will now apply a light to the top of the tube. There is the hydrogen burning. There is our philosophical candle.»

Sikkerhet for barn: Åpen brennende hydrogengassflamme med intens varme og risiko for flammetilbakeslag i generatoren. Forbudt for barn under regel D.

Demonstrasjon F3-D31: Kjølesylinder over hydrogenflamme dugges til av forbrenningsvann

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «In the course of a short time you will see moisture appearing in the cylinder, and you will get the water running down the side»

Sikkerhet for barn: Glassylinder holdt over brennende hydrogenflamme fanger opp kondenserende vanndamp. Ekstrem varme og brennende gass; kun laboratoriedemonstrasjon.

Demonstrasjon F3-D32: Gummislange og krittpipe kobles til hydrogengenerator

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have an india-rubber tube connected with the hydrogen generator, and at the end of the tube is a tobacco-pipe.»

Sikkerhet for barn: Hydrogengass føres gjennom slangeledning til pipe for bobleblåsing. Gasslekkasje og brennbar gass; forbudt for barn.

Jeg kan dyppe pipen i såpevannet og blåse bobler ved hjelp av hydrogengassen. Legg merke til hvordan såpeboblene faller nedover når jeg blåser dem med min varme ånde; men se forskjellen når jeg blåser dem med hydrogen!

[Foreleseren blåste såpebobler med hydrogengass, som straks steg opp til taket i forelesningssalen.] Dette viser dere hvor overmåte lett denne gassen må være, for å kunne løfte med seg den tunge hinnen av såpe og vann og fuktigheten på boblen.

Men jeg kan vise dens letthet på en enda bedre måte; større ballonger enn dette kan løftes; ja, var vi ikke begrenset av veggene og taket i dette rommet, kunne vi frembringe gassballonger som kunne bære oss mennesker høyt opp i luften!

Her har vi en innretning for et slikt formål. Herr Anderson fester denne slangen til gassutvikleren vår, og vi får en hydrogenstrøm som vi kan fylle denne ballongen av kollodium med. Jeg behøver ikke engang være nøye med å få ut all luften, for jeg kjenner denne gassens veldige løftekraft.

[To kollodiumballonger ble fylt og sluppet opp, hvorav én ble holdt i en snor.] Her er en annen og større ballong laget av en tynn dyremembran, som vi skal fylle og la stige til værs. Dere vil se at de alle blir svevende oppunder taket inntil gassen langsomt slipper ut.

Demonstrasjon F3-D33: Såpebobler fylt med hydrogengass stiger mot taket

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «[The Lecturer here blew bubbles with hydrogen, which rose to the roof of the theatre.] It shews you how light this gas must be»

Sikkerhet for barn: Bobler fylt med brennbar hydrogengass i åpen forelesningssal med gassarmatur i taket. Eksplosjons- og brannfare under regel D; kun historisk lesning.

Demonstrasjon F3-D34: Gassballonger fylles med hydrogengass og slippes opp

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «fasten this tube on to our generator, and we shall have a stream of hydrogen here with which we can charge this balloon made of collodion»

Sikkerhet for barn: Store volumer brennbar hydrogengass samlet i ballonger innendørs. Brannfare; kun til historisk beretning.

> Merknad: **Etter 1861.** Hydrogengass har en molekylvekt på 2,016 g/mol, mens tørr luft i gjennomsnitt har en molar masse på omtrent 29 g/mol (hovedsakelig N_2 og O_2). Hydrogengass er derfor omtrent 14,4 ganger lettere enn luft ved samme trykk og temperatur. Etter Arkimedes' lov opplever en gassballong en oppdrift som tilsvarer vekten av luften den fortrenger, hvilket gir hydrogen en netto løftekraft på omtrent 1,2 kg per kubikkmeter gass.

Hva er da de innbyrdes vektene til disse stoffene? Jeg har her en tabell som viser forholdet mellom vektene deres. Jeg har valgt en pint og en kubikkfot som måleenheter, og satt opp de tilsvarende tallene.

En pint av dette hydrogenet veier bare tre fjerdedeler av vår minste vektenhet (et gran), og en kubikkfot veier en tolvtedels unse; mens en pint flytende vann veier 8 750 gran, og en kubikkfot vann veier nesten 1 000 unser.

Dere ser derfor hvilken enorm forskjell det er mellom vekten av en kubikkfot vann og en kubikkfot hydrogengass.

Demonstrasjon F3-D35: Sammenligning av vekt og tetthet for vann og hydrogen

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «A pint measure of this hydrogen weighs three-quarters of our smallest weight (a grain), and a cubic foot weighs one-twelfth of an ounce»

Sikkerhet for barn: Teoretisk og tabellarisk fremvisning av fysiske tetthetsdata for brennbar hydrogengass mot vann. Kun historisk formidling.

> Merknad: **Etter 1861.** Faraday benyttet tradisjonelle britiske enheter. Omregnet til moderne SI-enheter veier vann omtrent 1000 kg per kubikkmeter (1 g/cm^3), mens hydrogengass ved 0 °C og standard trykk veier omtrent 0,0899 kg per kubikkmeter ($0,0899\text{ g/L}$). Flytende vann er med andre ord over 11 000 ganger tettere enn hydrogengass ved atmosfæretrykk.

Hydrogen gir ikke opphav til noe stoff som kan bli fast, verken under forbrenningen eller etterpå som et produkt av dens forbrenning. Men når det brenner, frembringer det utelukkende vann; og dersom vi tar et kaldt glass og holder det over flammen, dugges det til, og dere får vann dannet i merkbar mengde med det samme.

Og intet annet dannes ved dets forbrenning enn det samme vannet som dere så stearinlysets flamme frembringe. Det er ytterst viktig å merke seg at dette hydrogenet er det eneste stoffet i naturen som gir vann som sitt eneste forbrenningsprodukt.

Demonstrasjon F3-D36: Kaldt glass over hydrogenflamme fanger opp rent forbrenningsvann

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «if we take a cold glass and put it over the flame, it becomes damp, and you have water, produced immediately in appreciable quantity»

Sikkerhet for barn: Åpen brennende hydrogengassflamme med intens varme og eksplosjonsrisiko ved gassblandinger. Forbudt for barn under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Forbrenningen av hydrogen i luft ($2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$) avgir ingen sot eller karbonpartikler, og flammen er derfor nesten fargeløs i ren luft, men har en forbrenningstemperatur på over 2100 °C. Reaksjonen danner utelukkende rent vann.

Og nå må vi bestrebe oss på å finne ytterligere bevis for vannets allmenne natur og sammensetning; og til dette formålet vil jeg holde på dere et lite øyeblikk til, slik at vi ved neste møte kan være bedre forberedt på emnet.

Vi har muligheten til å innrette sinken, som dere har sett virke på vannet ved hjelp av syre, på et slikt vis at all denne kraften utvikles på det nøyaktige stedet der vi behøver den.

Jeg har bak meg en voltasøyle — et mektig galvanisk batteri — og jeg skal her ved slutten av forelesningen vise dere dens karakter og kraft, slik at dere kan se hva vi har å gjøre med når vi møtes neste gang. Jeg holder her i hendene endene av

ledningstrådene som transporterer kraften fra apparatet bak meg, og som jeg skal bringe til å virke på vannet.

Demonstrasjon F3-D37: Fremvisning av voltasøylen og elektrodeledningene

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I hold here the extremities of the wires which transport the power from behind me, and which I shall cause to act on the water»

Sikkerhet for barn: Stort galvanisk batteri med kjemiske syreceller og elektrisk spenning. Fare for etseskader og elektrisk støt; kun til observasjon av kvalifisert foreleser.

Vi har tidligere sett hvilken forbrenningskraft som ligger i kalium, i sinken eller i jernsponet; men ingen av dem oppviser en energi som denne!

[Foreleseren brakte her de to poltrådene fra batteriet i kontakt, hvorved det oppsto et blendende lysglimt.] Dette lyset er i sannhet frembrakt av en førti-sinks forbrenningskraft: Det er en kraft jeg kan bære med meg i hendene gjennom disse ledningene etter eget ønske — skjønt dersom jeg ledet den feilaktig gjennom min egen kropp, ville den tilintetgjøre meg på et øyeblikk, for det er en overmåte voldsom ting, og kraften dere ser utfoldet her mens dere teller til fem [bringer polene sammen og viser det elektriske lyset], tilsvarer kraften i flere tordenvær, så veldig er dens styrke.

Og for at dere skal få se hvilken intens energi den rommer, skal jeg ta endene av trådene som fører kraften fra batteriet, og jeg tør si at jeg med dem kan brenne over denne stålfilen.

Dette er en kjemisk kraft, og en kraft som jeg skal anvende på vann neste gang vi møtes, for å vise dere hvilke resultater vi er i stand til å frembringe.

Demonstrasjon F3-D38: Batteripolene bringes i kontakt og utløser blendende lysbue

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «[The Lecturer here made contact between the two terminal wires of the battery, when a brilliant flash of light was produced.]»

Sikkerhet for barn: Kortslutning av batteripoler danner en blendende elektrisk lysbue med voldsom hete og intens ultrafiolett stråling. Livsfarlig elektrisk støt; forbudt for barn.

Demonstrasjon F3-D39: Elektrisk strøm smelter og brenner en stålfil

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «take the ends of the wires which convey the power from the battery, and with it I dare say I can burn this iron file»

Sikkerhet for barn: Elektrisk oppheting av stålfil til smelting og forbrenning med sprut av flytende metall. Akutt brann- og skadefare; forbudt for barn under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Batteriet Faraday demonstrerte var et 40-cellers Grove-batteri (oppfunnet av William Robert Grove i 1839), som brukte sink i fortynnet svovelsyre og platina i konsentrert salpetersyre. Hver celle ga omtrent 1,9 volt, slik at 40 seriekoblede celler leverte over 75 volt og kraftig likestrøm med høy strømstyrke, tilstrekkelig til å opprettholde en blendende elektrisk kullbuelampe og smelte tykt stål. I neste forelesning bruker Faraday denne kraften til elektrolyse: å spalte vann til hydrogen og oksygen ($2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$).

Forelesning IV: Hydrogen i stearinlyset — Brenner til vann — Den andre delen av vann — Oksygen

Jeg ser at dere ennå ikke er trette av stearinlyset, for ellers er jeg viss på at dere ikke ville ha fulgt emnet med den samme levende interessen som dere viser. Da lyset vårt brant, oppdaget vi at det frembrakte vann nøyaktig likt det vannet vi har rundt oss overalt; og ved nærmere undersøkelse av dette vannet fant vi det underlige stoffet hydrogen — det lette stoffet som det finnes en mengde av i denne beholderen. Deretter så vi hydrogenets forbrenningsevne, og at denne forbrenningen dannet vann. Og jeg tror jeg henledet oppmerksomheten deres på et apparat som jeg ganske kort omtalte som en innretning for kjemisk kraft, energi eller virkekraft, innstilt slik at den overfører sin kraft til oss gjennom disse metalltrådene; og jeg sa at jeg ville bruke denne kraften til å rive vannet i stykker, for å se hva annet som finnes i vannet foruten hydrogen; for dere husker at da vi ledet vannet gjennom det glødende jernrøret, fikk vi på ingen måte tilbake vekten av det vannet vi førte inn i form av damp, skjønt vi fikk utviklet en overmåte stor mengde gass. Vi må nå undersøke hvilket annet stoff som er til stede.

For at dere skal forstå egenskapene og nytten av dette apparatet, la oss gjøre et forsøk eller to. La oss aller først sette sammen noen stoffer som vi kjenner arten av, og deretter se hva dette instrumentet utretter med dem. Her er litt kobber (legg merke til de mange forandringene det kan gjennomgå), og her er litt salpetersyre; og dere vil oppdage at denne syren, som er et meget sterkt kjemisk virkemiddel, virker overmåte kraftig når jeg tilsetter den til kobberet. Den sender nå ut en vakker rød damp; men ettersom vi ikke ønsker å puste inn denne dampen, vil herr Anderson holde kolben nær peistrekket en liten stund, slik at vi kan nyte forsøkets skjønnhet og lærdom uten ubehag. Kobberet som jeg har lagt i kolben, vil løse seg opp: det vil forvandle syren og vannet til en dyp blå væske som inneholder kobber og andre bestanddeler; og jeg akter deretter å vise dere hvordan denne galvaniske voltasøylen tar seg av oppløsningen. I mellomtiden skal vi innrette et annet slags forsøk, slik at dere kan få se hvilke krefter apparatet rår over.

Dette er et stoff som for oss forholder seg likt vann — det vil si at det inneholder stoffer som vi foreløpig ikke kjenner til, på samme måte som vann inneholder et stoff vi ennå ikke kjenner. Denne saltoppløsningen skal jeg nå stryke ut over et stykke papir og fordele jevnt, og deretter sette batteriets kraft på den, og iaktta hva som hender. Tre eller fire viktige ting vil inntreffe, som vi skal dra nytte av. Jeg legger dette fuktede papiret på et ark tinnfolie, noe som er overmåte praktisk for å holde alt rent, og likeledes for en fordelaktig overføring av kraften; og denne oppløsningen blir, som dere ser, overhodet ikke påvirket av å ligge på papiret eller tinnfolien, og heller ikke av noe annet jeg hittil har brakt i berøring med den; den står oss derfor helt fritt til rådighet overfor instrumentet vårt.

Men la oss først forvisse oss om at apparatet vårt er i orden. Her er ledningstrådene våre. La oss se om batteriet befinner seg i samme tilstand som forrige gang. Det kan vi snart avgjøre. Ennå, når jeg fører dem sammen, har vi ingen merkbar virkning, fordi overførerne — det vi kaller elektrodene, strømmens veier eller passasjer for elektrisiteten — er brutt; men nå har herr Anderson ved dette [viser til et plutselig lysglimt ved endene av trådene] gitt meg et telegram om at alt er klart. Før jeg begynner forsøket vårt, vil jeg be herr Anderson bryte kontakten igjen ved batteriet bak meg, og vi skal legge en tynn platinatråd på tvers for å forbinde polene; og dersom jeg oppdager at jeg kan bringe et anselig stykke av denne tråden til å gløde, kan vi være trygge på forsøket vårt. Nå skal dere få se kraften. [Kontakten ble sluttet, og forbindelsestråden ble rødglødende.] Der løper kraften strålende gjennom tråden, som jeg med hensikt har gjort tynn for å vise dere at vi rår over disse voldsomme kreftene; og nå som vi har denne kraften for hånden, skal vi gå videre med den til undersøkelsen av vann.

Demonstrasjon F4-D01: Kobber oppløses i salpetersyre under utvikling av rød nitrogendioksidgass

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «There is some copper (observe the various changes which it can undergo), and here is some nitric acid, and you will find that this, being a strong chemical agent, will act very powerfully when I add it to the copper.»

Sikkerhet for barn: Konsentrert salpetersyre er sterkt etsende og reagerer voldsomt med metallisk kobber under utvikling av giftige, kvelende røde nitrogendioksidgasser (NO_2). Må kun utføres i avtrekk av fagpersoner; strengt forbudt for barn.

Demonstrasjon F4-D02: Platinatråd opphetes til rødglødende tilstand over voltasøylens poler

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «we will put a platinum-wire across to connect the poles, and then if I find I can ignite a pretty good length of this wire, we shall be safe in our experiment.»

Sikkerhet for barn: Kraftig galvanisk batteri slutter strømkrets gjennom tynn metalltråd som oppnår rødglødende temperatur med akutt brann- og forbrenningsfare. Kun historisk laboratoriedemonstrasjon.

> Merknad: **Etter 1861.** Reaksjonen mellom kobber og konsentrert salpetersyre danner kobber(II)nitrat, vann og nitrogenmonoksid: $3Cu + 8HNO_3 \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$. Den fargeløse gassen NO reagerer momentant med luftens oksygen og danner den karakteristiske rødbrune, giftige gassen nitrogendioksid ($2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$). Oppvarmingen av platinatråden følger Joules lov ($P = I^2 R$), hvor strømstyrken fra voltasøylen møter trådens elektriske motstand.

Jeg har her to biter av platina; og dersom jeg legger dem ned på dette papirarket [det fuktede papiret på tinnfolien], vil dere ikke se noen virkning; og løfter jeg dem opp, er det ingen forandring dere kan få øye på, men oppstillingen forblir akkurat slik den var før. Men se nå hva som hender: Hvis jeg tar disse to polene og setter enten den ene eller den andre av dem ned hver for seg på platinaplatene, utretter de ingenting for meg; begge er fullkomment uten virkning. Men dersom jeg lar dem begge være i berøring i nøyaktig samme øyeblikk, se da hva som skjer [en brun flekk kom til syne under hver av batteriets poler]. Se her på virkningen som inntreffer, og se hvordan jeg har skilt noe ut fra det hvite — noe brunt stoff; og jeg tviler ikke på at dersom jeg innrettet det slik at jeg satte den ene polen mot tinnfolien på den andre siden av papiret — ja, da får jeg en så vakker virkning på papiret at jeg skal undersøke om jeg ikke kan skrive med den — et telegram, om dere vil. [Foreleseren tegnet her ordet «juvenile» på papiret med en av ledningstrådene.] Se der hvor vakkert vi kan hente fram resultatene våre!

Demonstrasjon F4-D03: Elektrokjemisk skrift på fuktet saltpapir med batteripoler

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Now, this solution of a salt[15] I will put upon paper, and spread about, and apply the power of the battery to it, and observe what will happen.»

Sikkerhet for barn: Kjemisk telegrafi ved elektrolytisk spaltning av kaliumjodid og stivelse under elektrisk spenning. Galvanisk apparat med kjemikalier; historisk demonstrasjon under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Faradays fotnote [15] viser til en oppløsning av kaliumjodid (KI) blandet med stivelsesklister. Ved anoden oksideres jodidioner til fritt jod: $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$. Det utskilte jodet reagerer momentant med stivelsens amylosemolekyler og danner et intenst blåbrunt polyjodidkompleks. Dette dannet grunnlaget for Alexander Bains kjemiske telegraf (1846).

Dere ser at vi her har trukket ut noe av denne oppløsningen som vi ikke kjente til fra før. La oss nå hente tilbake den kolben fra herr Andersons hender, og se hva vi kan trekke ut av den. Dette er, som dere vet, en væske vi nettopp har tilberedt av kobber og salpetersyre mens de andre forsøkene våre pågikk; og skjønt jeg utfører dette forsøket i all hast og kanskje fomler en smule, foretrekker jeg likevel å la dere se hva jeg gjør fremfor å forberede det i hemmelighet på forhånd.

Se nå hva som skjer. Disse to platinaplatene er de to endene (eller jeg skal gjøre dem til det straks) av dette apparatet; og jeg skal nå sette dem i berøring med den oppløsningen, akkurat slik vi gjorde for et øyeblikk siden på papiret. Det betyr ingenting for oss om oppløsningen befinner seg på papiret eller i glassbeholderen, så lenge vi bringer apparatets ender bort til den. Dersom jeg stikker de to platinaplatene nedi for seg selv, kommer de opp igjen like rene og hvite som da de ble ført nedi [stikker dem ned i væsken uten å koble dem til batteriet]; men når vi tar kraften og setter den på [platinaplatene ble forbundet med batteriet og atter dyppet i oppløsningen], da ser dere dette [viser fram en av platinaplatene], den er straks forvandlet til kobber, så å si: den er blitt som en plate av kobber; og den andre [viser fram den andre platinaplaten] er kommet opp fullstendig ren. Dersom jeg tar denne kobberbelagte platen og bytter side, vil kobberet forlate høyre side og vandre over til venstre side; det som tidligere var den kobberkledde platen, kommer opp ren, og platen som før var ren, kommer opp dekket av kobber; og således ser dere at det samme kobberet vi puttet inn i denne oppløsningen, kan vi likeledes hente ut av den ved hjelp av dette instrumentet.

Demonstrasjon F4-D04: Galvanisk utfelling av metallisk kobber på platinaelektrode

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «when we take the power and lay that on [the platinums were connected with the battery and again dipped into the solution], this, you see [exhibiting one of the platinums], is at once turned into copper»

Sikkerhet for barn: Elektrolytisk metallbelegging (galvanoplastikk) fra sur kobberoppløsning med elektrisk strøm. Syreholdig væske og spenningskilde; historisk laboratoriedemonstrasjon.

Demonstrasjon F4-D05: Reversering av strømretning flytter kobberbelegget mellom elektrodene

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If I take this coppered piece and change sides, the copper will leave the right-hand side and come over to the left side»

Sikkerhet for barn: Bytte av polaritet demonstrerer at metallioner vandrer mot katoden ($Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$) mens anoden oppløses. Kjemikalier og elektrisk apparat; forbudt for barn.

> Merknad: **Etter 1861.** Denne prosessen kalles elektrolytisk raffinering eller galvanostegi. I oppløsningen foreligger kobber som positive kobberioner (Cu^{2+}). Ved den negative katoden mottar ionene to elektroner og felles ut som rent metall: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu(s)$. Ved den positive anoden oksideres kobberet tilbake til oppløste ioner når platene byttes om.

La oss sette denne oppløsningen til side, og nå undersøke hvilken virkning dette apparatet vil ha på vann. Her er to små platinaplater som jeg akter å gjøre til batteriets endepunkter, og dette karet (C) er formet slik at jeg kan ta det fra hverandre og vise dere konstruksjonen. I disse to små skålene (A og B) fyller jeg kvikksølv, som berører endene av ledningstrådene som er forbundet med platinaplatene. I beholderen (C) fyller jeg litt vann som inneholder en smule syre (men som bare er tilsatt i den hensikt å lette virkningen; syren gjennomgår ingen forandring under prosessen), og forbundet med toppen av karet er et bøyd glassrør (D), som kanskje minner dere om røret som var koblet til geværløpet i ovnsforsøket vårt, og som nå føres under glassklokken (F).

Jeg har nå stilt inn dette apparatet, og vi skal gå i gang med å påvirke vannet på ett eller annet vis. I det forrige tilfellet sendte jeg vannet gjennom et rør som var brakt til rødglød; nå skal jeg lede elektrisiteten gjennom innholdet i dette karet. Kanskje jeg koker vannet; dersom jeg koker vannet, vil jeg få vanndamp; og dere vet at damp kondenserer når den kjøles ned, og dere vil derfor ut fra det kunne se om jeg koker vannet eller ikke. Kanskje jeg likevel ikke koker vannet, men frembringer en helt annen virkning. Dere skal få se forsøket og dømme selv.

Her er én tråd som jeg setter til denne siden (A), og her er den andre tråden som jeg setter til den andre siden (B), og dere vil snart se om det oppstår noen uro. Her ser det ut til å koke aldeles storartet; men koker det virkelig? La oss undersøke om det som stiger opp, er damp eller ikke. Jeg tror dere snart vil se at glassklokken (F) blir fylt av damp dersom det som stiger opp fra vannet, er vanndamp. Men kan det være damp? Nei, ganske visst ikke; for der borte blir det stående, ser dere, fullstendig uforandret. Der står det over vannflaten, og det kan derfor ikke være damp, men må være en permanent gass av et eller annet slag. Hva er det? Er det hydrogen? Er det noe annet? Vel, vi skal undersøke det. Dersom det er hydrogen, vil det brenne. [Foreleseren antente deretter en del av den oppsamlede gassen, som brant med en skarp eksplosjon.]

Demonstrasjon F4-D06: Elektrolytisk spaltning av forsuret vann med kvikksølvkontakter og felles gassoppsamling

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «In these two cups (A and B) I pour mercury, which touches the ends of the wires connected with the platinum-plates. In the vessel (C) I pour some water containing a little acid»

Sikkerhet for barn: Elektrolyse med giftig metallisk kvikksølv i åpne kontaktkopper, svovelsyreholdig elektrolytt og kraftig galvanisk batteri. Kvikksølvdamp og syre innebærer helsefare; kun historisk laboratorieoppstilling.

Demonstrasjon F4-D07: Antenning av oppsamlet knallgassblanding med eksplosivt smell

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If it is hydrogen, it will burn. [The Lecturer then ignited a portion of the gas collected, which burnt with an explosion.]»

Sikkerhet for barn: Åpen flamme føres til usortert gassblanding av hydrogen og oksygen (knallgass) som detonerer med et skarpt smell. Hørselsskade- og eksplosjonsrisiko; strengt forbudt for barn under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Faraday benyttet flytende kvikksølv som elektriske bryterbrønner for å sikre god metallisk kontakt uten lodding. I dag unngås flytende kvikksølv i undervisning på grunn av dets kumulative nevrotoksisitet og damptrykk. Syren som tilsettes (vanligvis svovelsyre, H_2SO_4), gir nødvendige ioner for elektrisk ledningsevne; rent vann har en overmåte lav egenledningsevne ($K_w = 1{,}0 \times 10^{-14}$).

Det er ganske visst noe brennbart, men ikke brennbart på den måten hydrogen brenner på. Hydrogen alene ville ikke ha gitt dere det skarpe smellet; men fargen på lyset da stoffet brant, lignet hydrogenets flamme: likevel brenner det uten kontakt med luften omkring. Det er grunnen til at jeg har valgt denne andre formen for apparat, i den hensikt å påpeke for dere hva som er de særegne omstendighetene ved dette forsøket. I stedet for et åpent kar har jeg tatt et lukket ett (batteriet vårt er så vidunderlig virksomt at vi til og med koker kvikksølvet og får alt helt rett — ikke galt, men med voldsom kraft); og jeg skal vise dere at denne gassen, hva den enn måtte være, kan brenne fullstendig uten luft, og i så måte skiller seg fra et stearinlys, som umulig kan brenne uten luft.

Måten vi gjør dette på, er som følger: Jeg har her en glassbeholder (G) som er utstyrt med to platinatråder (IK) som jeg kan lede elektrisitet igjennom; og vi kan sette beholderen på luftpumpen og suge ut luften; og når vi har fjernet luften, kan vi bringe den hit og feste den til denne glassklokken (F), og slippe inn i beholderen den gassen som ble dannet ved voltasøylens virkning på vannet, og som vi frembrakte ved å forvandle vannet til den — for jeg kan gå så langt som til å si at vi ved dette forsøket virkelig har omdannet vannet til denne gassen. Vi har ikke bare endret dets tilstand, men vi har virkelig og sant omdannet det til dette gassformige stoffet, og alt vannet som ble spaltet av forsøket, finnes der inne.

Når jeg skrur dette karet (GH) fast her (ved H) og sørger for at rørene slutter helt tett sammen, og når jeg åpner kranene (HHH), vil dere, dersom dere følger med på vannstanden (i F), se at gassen stiger opp. Jeg skal nå stenge kranene, ettersom jeg har trukket opp så mye som beholderen kan romme; og etter at den er trygt overført inn i dette kammeret, skal jeg sende en elektrisk gnist inn i den fra denne leidenflasken (L), hvorpå beholderen, som nå er fullkomment klar og skinnende, vil dugges til og bli uklar. Det vil ikke høres noen lyd, for karet er sterkt nok til å holde eksplosjonen innestengt. [En gnist ble deretter ledet gjennom beholderen, hvorpå den eksplosive blandingen ble antent.]

Så dere det blendende lysglimtet? Dersom jeg atter skrur beholderen fast på glassklokken og åpner disse kranene, vil dere se at gassen stiger opp en gang til. [Kranene ble deretter åpnet.] De gassene [viser til gassen som først ble samlet opp i glassklokken og som nettopp ble antent med den elektriske gnisten] er forsvunnet, som dere ser: plassen deres står tom, og ny gass har strømmet inn. Vann er blitt gjendannet fra dem; og dersom vi gjentar fremgangsmåten vår [gjentar det forrige forsøket], vil jeg på ny få et tomt rom, slik dere ser ved at vannet stiger opp. Jeg får alltid en tom beholder etter eksplosjonen, fordi den dampen eller gassen som vannet ble spaltet til av batteriet, eksploderer under påvirkning av gnisten og omdannes til vann; og om en liten stund vil dere se noen vanndråper i dette øvre karet som risler ned langs veggene og samler seg på bunnen.

Demonstrasjon F4-D08: Knallgassblanding antent med elektrisk gnist fra leidenflaske i lukket eksplosjonskammer (eudiometer)

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I will pass into it an electric spark from this Leyden jar (L), when the vessel, which is now quite clear and bright, will become dim.»

Sikkerhet for barn: Høyfrekvent høyspentgnist fra leidenflaske antenner støkiometrisk knallgass under trykk i lukket glassapparat. Sprengnings- og høyspentfare; utelukkende for kvalifisert foreleser.

Demonstrasjon F4-D09: Gjentatt gnistantenning kondenserer synlige vanndråper i eudiometeret

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I always have an empty vessel after the explosion, because the vapour or gas into which that water has been resolved by the battery explodes under the influence of the spark, and changes into water»

Sikkerhet for barn: Volumreduksjon etter vanndannelse skaper undertrykk og trekker inn ny gass som eksploderes. Trykk- og glassbruddfare; kun historisk observasjon under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Dette apparatet er et eudiometer, opprinnelig utviklet av Alessandro Volta. Den elektriske gnisten tilfører den nødvendige aktiveringsenergien for en forgrenet radikalkjedereaksjon ($H\cdot + O_2 \rightarrow OH\cdot + O\cdot$). Ved reaksjonen $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$ trekker tre volumdeler gass seg sammen til flytende vann med neglisjerbart volum, noe som skaper et nesten fullstendig undertrykk (vakuum) i beholderen.

Vi har her utelukkende med vann å gjøre, fullstendig uten hensyn til atmosfæren omkring oss. Vannet fra stearinlyset trengte atmosfærens hjelp for å dannes; men på denne måten kan det frembringes uavhengig av luften. Vann må derfor inneholde det andre stoffet som lyset henter ut av luften, og som i forening med hydrogenet danner vann.

Nettopp så dere at den ene enden av dette batteriet grep fatt i kobberet og trakk det ut av karet som inneholdt den blå oppløsningen. Det ble utrettet av denne ledningstråden; og vi må sannelig kunne spørre: Dersom batteriet har en slik makt over en metalloppløsning som vi fremstilte og spaltet igjen, kan vi da ikke tenke oss at det er mulig å splitte vannets bestanddeler fra hverandre, og føre dem til hvert sitt atskilte sted? Sett at jeg tar polene — de metalliske endene av dette batteriet — og ser hva som vil skje med vannet i dette apparatet (fig. 20), hvor vi har skilt de to endene langt fra hverandre.

Jeg plasserer den ene her (ved A) og den andre der (ved B), og jeg har små hyller med åpninger som jeg kan sette over hver pol, og innrette dem slik at hva enn som unnslipper fra de to endene av batteriet, vil tre fram som atskilte gasser; for dere så at vannet ikke ble til vanndamp, men til gass. Trådene står nå i fullkommen og forskriftsmessig forbindelse med karet som inneholder vannet; og dere ser gassboblene stige opp: la oss samle opp disse boblene og undersøke hva de er. Her er en glassylinder (O); jeg fyller den med vann og setter den over den ene enden (A) av batteriet; og jeg tar en annen (H) og setter den over den andre enden (B) av batteriet. Og således har vi nå et dobbelt apparat, hvor gass avgis fra begge steder.

Begge disse glassene vil fylles med gass. Der stiger de opp, det til høyre (H) fylles overmåte hurtig; det til venstre (O) fylles ikke like raskt; og skjønt jeg har latt noen bobler slippe unna, går likevel prosessen nokså jevnt for seg; og var det ikke for at det ene er en smule smalere enn det andre, ville dere se at jeg får dobbelt så mye i dette (H) som jeg har i det andre (O). Begge disse gassene er fargeløse; de står over vannet uten å kondensere; de er like i alle ting — jeg mener i alle synlige ytre egenskaper; og vi har her anledning til å undersøke disse stoffene og fastslå hva de er. Volumet deres er anselig, og vi kan lett utføre forsøk med dem. Jeg skal ta dette glasset (H) først, og be dere være forberedt på å gjenkjenne hydrogen.

Demonstrasjon F4-D10: Separat oppsamling av hydrogengass og oksygengass over hver sin pol i to gassrør

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a glass cylinder (O); I fill it with water and put it over one end (A) of the pile; and I will take another (H) and put it over the other end (B) of the pile.»

Sikkerhet for barn: Separasjon av hydrogengass ved katoden og oksygengass ved anoden under kontinuerlig strømgjennomgang i forsuret vann. Laboratorieoppstilling med kjemikalier og elektrisk spenning; kun historisk lesning.

> Merknad: **Etter 1861.** Dette apparatet kalles et voltameter (senere forbedret som Hoffmanns elektrolyseapparat). Ved katoden (-) dannes hydrogengass: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2(g)$. Ved anoden (+) dannes oksygengass: $2H_2O \rightarrow O_2(g) + 4H^+ + 4e^-$. For hvert elektronpar som overføres, dannes det nøyaktig to molekyler H_2 for hvert molekyl O_2. Volumforholdet er derfor nøyaktig 2:1 etter Avogadros lov.

Tenk på alle dets egenskaper — den lette gassen som holdt seg så godt i opp-ned-vendte kar, og brant med en blek flamme ved munningen av glasset — og se om ikke denne gassen oppfyller alle disse vilkårene. Dersom det er hydrogen, vil det forbli her mens jeg holder dette glasset vendt opp ned. [Et lys ble deretter ført borttil, hvorpå hydrogenet brant.] Hva finnes nå i det andre glasset? Dere vet at de to sammen utgjorde en eksplosiv blanding. Men hva kan dette være, som vi finner som den andre bestanddelen i vann, og som derfor må være det stoffet som fikk hydrogenet til å brenne? Vi vet at vannet vi helte i apparatet, besto av disse to tingene sammen. Vi oppdager at den ene er hydrogen: hva må da det andre stoffet være, som fantes i vannet før forsøket, og som vi nå har for oss helt alene?

Jeg skal føre denne brennende tresplinten inn i gassen. Gassen i seg selv vil ikke brenne, men den vil få tresplinten til å brenne. [Foreleseren antente enden av treflisen og førte den inn i gassglasset.] Se hvordan den forsterker treets forbrenning, og hvordan den får treet til å brenne langt heftigere enn luften formår; og nå ser dere for dere i ren tilstand det andre stoffet som finnes i vannet, og som lyset hentet ut av atmosfæren da vannet ble dannet ved lysets forbrenning. Hva skal vi kalle det, A, B eller C? La oss kalle det O — la oss kalle det «Oksygen»: det er et meget godt og klangfullt navn. Dette er da oksygenet som var til stede i vannet, og som utgjør en så overmåte stor del av det.

Demonstrasjon F4-D11: Det oppsamlede hydrogenet i omvendt glassrør antennes ved munningen

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If it be hydrogen, it will remain here while I hold this jar inverted. [A light was then applied, when the hydrogen burnt]»

Sikkerhet for barn: Åpen flamme føres til rør med ren hydrogengass; momentan oppflamming. Brann- og tilbakeslagsrisiko; forbudt for barn under regel D.

Demonstrasjon F4-D12: Glødende tresplint innført i oksygengass flammer opp i intens forbrenning

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I am about to put this lighted splinter of wood into the gas. The gas itself will not burn, but it will make the splinter of wood burn.»

Sikkerhet for barn: Klassisk kjemisk prøve på oksygengass; glødende treflis antennes brått med voldsom ild i ren oksygenatmosfære. Brannfare; kun faglærerforsøk.

> Merknad: **Etter 1861.** Navnet «oksygen» ble gitt av Antoine Lavoisier i 1777 fra gresk oxys (sur) og geinomai (frembringe), ut fra den feilaktige antakelsen at alle syrer må inneholde oksygen (noe Davy motbeviste ved å påvise at saltsyre kun består av hydrogen og klor). Oksygen brenner ikke selv, men er en kraftig oksidasjonskilde som tillater vesentlig høyere reaksjonshastighet enn luft, som er fortynnet med omtrent 78 % kvelstoff (nitrogen).

Vi skal nå begynne å forstå forsøkene og undersøkelsene våre klarere; for når vi har undersøkt disse tingene en gang eller to, vil vi snart se hvorfor et stearinlys brenner i luften. Når vi på denne måten har analysert vannet — det vil si skilt eller elektrolytt dets deler ut av det — får vi to volumer hydrogen, og ett volum av det stoffet som får det til å brenne. Og disse to er fremstilt for oss i det følgende diagrammet, hvor også vektene deres er oppgitt; og vi skal oppdage at oksygen er et overmåte tungt stoff sammenlignet med hydrogen. Det er det andre grunnstoffet i vann.

Det er kanskje best at jeg nå forteller dere hvordan vi kan skaffe dette oksygenet i rikelige mengder, etter at jeg har vist dere hvordan vi kan skille det ut fra vannet. Oksygen finnes, slik dere straks vil ane, i atmosfæren; for hvordan skulle ellers lyset kunne brenne og frembringe vann uten det?

> Merknad: **Etter 1861.** Diagrammet gjengir Faradays 1861-fremstilling basert på ekvivalentvekter, hvor oksygen ble tildelt verdien 8 og vann ble regnet som HO. På kjemikerkongressen i Karlsruhe i 1860 la Stanislao Cannizzaro fram Avogadros gasslov og fastslo at vannmolekylformelen er H_2O. Hydrogen har atomvekt ca. 1,008 u og oksygen ca. 16,00 u. Masseforholdet forblir nøyaktig det samme som Faraday oppga: $2 \times 1{,}008 / 18{,}016 = 11{,}19 \%$ hydrogen og $16{,}00 / 18{,}016 = 88{,}81 \%$ oksygen.

En slik ting ville være fullkomment umulig, og kjemisk umulig, uten oksygen.

Kan vi vinne det ut fra luften? Vel, det finnes noen meget innviklede og vanskelige fremgangsmåter som gjør det mulig å hente det ut fra luften; men vi rår over bedre metoder. Det finnes et stoff som kalles brunstein eller mangandioksid: det er et overmåte mørkt mineral, men overordentlig nyttig, og når det opphetes til rødglød, avgir det oksygen. Her er en jernflaske som er fylt med litt av dette stoffet; det er festet et rør til den, og ilden er gjort klar, og herr Anderson vil sette denne retorten inn i ilden, for den er laget av jern og tåler heten.

Her er et salt som kalles kaliumklorat, som nå fremstilles i store mengder for bleking, kjemisk og medisinsk bruk, samt for fyrverkeri og andre formål. Jeg tar litt av det og blander det med litt mangandioksid (kobberoksid eller jernoksid ville duge like godt); og dersom jeg legger disse sammen i en glassretort, er langt mindre enn rødglødende hete tilstrekkelig for å drive oksygenet ut av blandingen. Jeg har ikke til hensikt å fremstille mye, for vi behøver bare nok til forsøkene våre; men som dere straks vil se: dersom jeg bruker en for liten ladning, vil den første porsjonen med gass blandes med luften som allerede finnes i retorten, og jeg ville bli nødt til å ofre den første delen av gassen fordi den ville være så sterkt utblandet med luft; den første porsjonen må derfor kastes.

Dere vil oppdage at i dette tilfellet er en alminnelig spritlampe fullt tilstrekkelig for at jeg skal vinne ut oksygenet, og således har vi to prosesser i gang samtidig for å fremstille det. Se hvor rikelig gassen strømmer over fra denne lille porsjonen av blandingen. Vi skal undersøke den og se hva dens egenskaper er. Nå frembringer vi på denne måten, slik dere ser, en gass nøyaktig lik den vi fikk i forsøket med batteriet — gjennomsiktig, uløselig i vann, og med atmosfærens vanlige synlige egenskaper. (Ettersom dette første glasset inneholder luften sammen med de første porsjonene oksygen som ble frigjort under tilberedningen, setter vi det til side, slik at vi er forberedt på å utføre forsøkene våre på en ordnet og verdig måte.)

Og ettersom denne evnen til å få tre, voks eller andre ting til å brenne var så fremtredende i det oksygenet vi vant ut fra vann ved hjelp av voltasøylen, kan vi vente å finne nøyaktig den samme egenskapen her. Vi skal prøve det. Dere ser her forbrenningen av et tent tindelys i vanlig luft, og her er dets forbrenning i denne gassen [senker tindelyset ned i glasset]. Se hvor strålende og vakkert det brenner! Dere kan også se mer enn dette — dere vil oppdage at det er en tung gass, mens hydrogen ville stige opp som en ballong, eller endog hurtigere enn en ballong når det ikke tynges av hylsterets vekt.

Demonstrasjon F4-D13: Fremstilling av oksygengass ved gløding av mangandioksid i jernretort over kullild

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is an iron bottle which has had some of this substance put into it, and there is a tube fixed to it, and a fire ready made, and Mr. Anderson will put that retort into the fire»

Sikkerhet for barn: Termisk dekomponering av mineralet mangandioksid (MnO_2) i rødglødende jernbeholder over åpen kullild; ekstrem hete og trykk. Forbudt under regel D.

Demonstrasjon F4-D14: Fremstilling av oksygengass fra kaliumklorat og mangandioksid oppvarmet med spritlampe

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a salt called chlorate of potassa, which is now made in large quantities for bleaching, and chemical and medical uses, and for pyrotechnic and other purposes.»

Sikkerhet for barn: Kaliumklorat er et sterkt oksidasjonsmiddel som ved oppvarming kan forårsake voldsom eksplosjon dersom det forurenses av brennbart materiale. Kun historisk beretning.

Demonstrasjon F4-D15: Vokslys/tindelys senkes ned i oksygenkolbe og brenner med blendende hvit flamme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «You see there is the combustion of a lighted taper in air, and here is its combustion in this gas [lowering the taper into the jar]. See how brightly and how beautifully it burns!»

Sikkerhet for barn: Forbrenning av åpen flamme i ren oksygenatmosfære medfører kraftig temperaturøkning og sprutfare. Regel D forbyr flamme utover enkelt lys for barn.

> Merknad: **Etter 1861.** Kaliumklorat ($KClO_3$) dekomponerer ved oppvarming til kaliumklorid og oksygen: $2KClO_3 \rightarrow 2KCl + 3O_2(g)$. Mangandioksid ($MnO_2$) virker som en heterogen katalysator; det senker aktiveringsenergien slik at reaksjonen forløper ved ca. 200 °C i stedet for over 400 °C. Uten katalysator kreves vesentlig kraftigere oppvarming.

Dere kan lett innse at skjønt vi vant ut dobbelt så stort volum hydrogen som oksygen fra vannet, følger det på ingen måte at vi har dobbelt så stor vekt — ettersom den ene er en tung gass, og den andre en overmåte lett gass. Vi rår over midler til å veie gasser eller luft; men uten å stanse for å forklare det i detalj, la meg ganske enkelt fortelle dere hva deres respektive vekter er. Vekten av en pint hydrogen er tre firedels grain; vekten av den samme mengden oksygen er nesten tolv grains. Dette er en overmåte stor forskjell. Vekten av en kubikkfot hydrogen er en tolvtedels unse; og vekten av en kubikkfot oksygen er en unse og en tredjedel. Og slik kunne vi fortsette like opp til stoffmasser som kan veies på skålvekt, og som vi kan gjøre regnskap for i hundredweight og tonn, slik dere vil få se nesten umiddelbart.

Demonstrasjon F4-D16: Gassvekt og tetthetsforhold mellom hydrogen, oksygen og atmosfærisk luft

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «The weight of a pint of hydrogen is three-quarters of a grain; the weight of the same quantity of oxygen is nearly twelve grains.»

Sikkerhet for barn: Teoretisk og historisk sammenligning av fysiske gassvekter og tettheter for brennbare og oksiderende gasser; formidles uten laboratorieøvelser for barn.

> Merknad: **Etter 1861.** Faradays historiske enheter (1 grain $\approx 64{,}8$ mg; 1 pint $\approx 0{,}568$ L; 1 oz $\approx 28{,}35$ g; 1 kubikkfot $\approx 28{,}32$ L) svarer til at oksygen er omtrent 16 ganger tyngre enn hydrogen ved samme temperatur og trykk ($M(O_2) \approx 32$ g/mol mot $M(H_2) \approx 2$ g/mol). Ved standard trykk og temperatur (STP: 0 °C, 1 atm) har 1 mol ideell gass et volum på 22,4 liter.

Når det gjelder denne særlige egenskapen ved oksygen at det understøtter forbrenning, som vi kan sammenligne med luften omkring oss, vil jeg ta en bit av et stearinlys for å vise dere det på en enkel og grov måte, og resultatet vil være tydelig. Der borte brenner lyset vårt i vanlig luft: Hvordan vil det brenne i oksygen? Jeg har her et glass med denne gassen, og jeg skal sette det over lyset for at dere skal kunne sammenligne gassens virkning med luftens virkning. Se bare på det: det ligner nesten lyset dere så ved polene på det elektriske batteriet! Tenk hvor voldsom denne reaksjonen må være! Og likevel, under hele denne voldsomme forbrenningen, dannes det intet annet enn det som frembringes når lyset brenner i luft. Vi får nøyaktig den samme dannelsen av vann, og nøyaktig de samme fenomenene når vi bruker denne gassen i stedet for luft, som når lyset brennes i vanlig luft.

Demonstrasjon F4-D17: Stearinlys under gassklokke med oksygen viser voldsomt forsterket forbrenning

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «There is our candle burning in the air: how will it burn in oxygen? I have here a jar of this gas, and I am about to put it over the candle for you to compare the action of this gas with that of the air.»

Sikkerhet for barn: Flamme i ren oksygen oppnår intens hete, blendende glød og fare for at glassklokken overopphetes eller sprekker. Forbudt for barn under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Den forsterkede lysstyrken skyldes at forbrenningstemperaturen stiger betraktelig når reaksjonen ikke avkjøles av luftens 78 % nitrogen. Karbonpartiklene i sotglødesonen oppnår dermed langt høyere temperatur og stråler etter Plancks strålingslov ut et vesentlig mer intenst, hvitaktig lys.

Men nå som vi har vunnet kunnskap om dette nye stoffet, kan vi betrakte det en smule nøyere, slik at vi forvisser oss om at vi har oppnådd en god allmenn forståelse av denne delen av stearinlysets produkter. Det er forunderlig hvor storslått dette stoffets evne er til å understøtte forbrenning. For eksempel har vi her en lampe som, enkel som den er, kan sies å være opprinnelsen til et stort mangfold av lamper som konstrueres for ulike formål — for fyrtårn, mikroskopisk belysning og annen bruk; og dersom noen foreslo å få den til å brenne overordentlig lyst, ville dere si: «Dersom et lys brant bedre i oksygen, vil ikke da en lampe gjøre det samme?» Jo, ganske visst gjør den det.

Herr Anderson vil gi meg et rør som kommer fra oksygenbeholderen vår, og jeg skal føre det bort til denne flammen, som jeg på forhånd med hensikt har fått til å brenne dårlig. Der strømmer oksygenet til: for en forbrenning det skaper! Men dersom jeg stenger for tilførselen, hva hender da med lampen? [Oksygenstrømmen ble stanset, og lampen falt tilbake til sin forrige svake glød.] Det er vidunderlig hvordan vi ved hjelp av oksygen får forbrenningen akselerert. Men det påvirker ikke bare forbrenningen av hydrogen, eller karbon, eller stearinlyset; det opphøyer alle vanlige forbrenninger. Vi kan ta en som angår jern, for eksempel, ettersom dere allerede har sett jern brenne en smule i atmosfæren. Her er en beholder med oksygen, og dette er et stykke jerntråd; men om det var en stang så tykk som håndleddet mitt, ville den brenne på nøyaktig samme vis.

Demonstrasjon F4-D18: Oksygenstrøm blåses inn i dempet lampeflamme og skaper intens belysning

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Mr. Anderson will give me a tube coming from our oxygen reservoir, and I am about to apply it to this flame, which I will previously make burn badly on purpose. There comes the oxygen: what a combustion that makes!»

Sikkerhet for barn: Gass under trykk rettet inn i åpen flamme skaper stikkflamme og intens varme. Brann- og trykkfare; forbudt for barn.

> Merknad: **Etter 1861.** Prinsippet med å tilføre ren oksygen til en brennende flamme var grunnlaget for tidlige fyrlykter og Thomas Drummonds «kalklys» (limelight, 1826), hvor en oksy-hydrogenflamme opphetet en kalsiumoksidblokk til hvitglød.

Jeg fester først et lite trestykke til jernet; jeg setter deretter fyr på treet og senker dem begge sammen ned i beholderen. Treet er nå antent, og der brenner det slik tre brenner i oksygen; men det vil snart overføre sin forbrenning til jernet. Jernet brenner nå strålende, og vil fortsette slik i lang tid. Så lenge vi tilfører oksygen, så lenge kan vi opprettholde jernets forbrenning inntil det sistnevnte er fullstendig fortært.

Demonstrasjon F4-D19: Glødende jerntråd med brennende treflis senkes i oksygen og brenner med gnistsverm

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I first attach a little piece of wood to the iron, I then set the wood on fire and let them both down together into the jar. The wood is now alight, and there it burns as wood should burn in oxygen; but it will soon communicate its combustion to the iron.»

Sikkerhet for barn: Forbrenning av metalltråd i ren oksygen slynger ut hvitglødende dråper av smeltet jernoksid som kan sprekke glasskar og forårsake alvorlige brannskader. Kun laboratorieforsøk bak skjerm.

> Merknad: **Etter 1861.** Reaksjonen danner magnetisk jernoksid (trijerntetraoksid / magnetitt): $3Fe(s) + 2O_2(g) \rightarrow Fe_3O_4(s)$. Reaksjonsvarmen er overmåte høy ($\Delta H^\circ = -1118$ kJ/mol), og temperaturen overstiger jernets smeltepunkt (1538 °C), slik at smeltede kuler av glødende jernoksid drypper ned mot bunnen.

Vi skal nå sette dette til side og ta et annet stoff; men vi må begrense forsøkene våre, for vi har ikke tid til overs for alle de illustrasjonene dere med rette kunne kreve dersom vi hadde mer tid til rådighet. Vi tar et stykke svovel — dere vet hvordan svovel brenner i luft — vel, vi fører det inn i oksygenet, og dere vil se at hva enn som kan brenne i luft, kan brenne med en langt større heftighet i oksygen, noe som leder dere til å tenke at kanskje atmosfæren i seg selv skylder hele sin forbrenningskraft til denne gassen. Svovelet brenner nå ganske rolig i oksygenet; men dere kan ikke et øyeblikk ta feil av den overordentlig høye og

forsterkede virkningen som inntreffer når det brennes på denne måten, i stedet for utelukkende å brennes i vanlig luft.

Demonstrasjon F4-D20: Svovel antennes og brenner med intens blå flamme i oksygen

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «We will take a piece of sulphur—you know how sulphur burns in the air—well, we put it into the oxygen, and you will see that whatever can burn in air, can burn with a far greater intensity in oxygen»

Sikkerhet for barn: Forbrenning av svovel utvikler giftig, slimhinneetsende svoveldioksidgass (SO_2). Akutt inhalasjonsfare; strengt forbudt for barn under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Svovel brenner til svoveldioksid: $S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$. Gassen har en stikkende, kvelende lukt og danner svovelsyrling (H_2SO_3) i kontakt med fuktighet. Den karakteristiske blå fargen skyldes elektroniske eksitasjoner i SO_2- og S_2-molekylene i flammen.

Jeg skal nå vise dere forbrenningen av et annet stoff — fosfor. Jeg kan gjøre det bedre for dere her enn dere kan gjøre det hjemme. Dette er et overmåte brennbart stoff; og dersom det er så brennbart i luft, hva må dere da vente at det vil være i oksygen? Jeg skal vise det til dere, ikke i dets fulle voldsomhet, for dersom jeg gjorde det, ville vi nesten sprenge apparatet i luften — jeg kan endog nå komme til å sprekke glasset, skjønt jeg ikke ønsker å ødelegge ting i vanvare. Dere ser hvordan det brenner i luften. Men for et strålende lys det gir fra seg når jeg fører det inn i oksygen! [Fører det tente fosforet inn i glasset med oksygen.] Der ser dere de faste partiklene som slynges ut og gjør denne forbrenningen så blendende lysende.

Demonstrasjon F4-D21: Fosfor antennes og brenner med blendende hvit solglans i oksygen

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I am now about to shew you the combustion of another substance—phosphorus. I can do it better for you here than you can do it at home.»

Sikkerhet for barn: Hvit fosfor er ekstremt giftig, selvantennelig i luft og brenner med over 1000 °C under utvikling av etsende fosforpentoksidrøyk. Livsfarlig for barn; strengt forbudt under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Faraday benyttet hvit fosfor (P_4). Reaksjonen danner tetrafosfordekaoksid (fosforpentoksid): $P_4(s) + 5O_2(g) \rightarrow P_4O_{10}(s)$. Den intense lysstyrken skyldes glødende kondenserte partikler av fast P_4O_{10} i flammen. Hvit fosfor er i dag strengt regulert på grunn av akutt giftighet, spontan selvantennelse og etsende forbrenningsprodukter som reagerer med vann til fosforsyre (H_3PO_4).

Hittil har vi prøvet denne oksygenets kraft og den voldsomme forbrenningen det frembringer ved hjelp av andre stoffer. Vi må nå en liten stund til betrakte det med hensyn til hydrogenet. Dere vet at da vi lot oksygenet og hydrogenet som stammet fra vannet, blandes og brenne sammen, fikk vi en liten eksplosjon. Dere husker også at da jeg brente oksygenet og hydrogenet sammen i en felles dyse, fikk vi overmåte lite lys, men en voldsom varme.

Jeg skal nå sette fyr på oksygen og hydrogen, blandet i nøyaktig det forholdet de forekommer i vann. Her er en beholder som inneholder ett volum oksygen og to volumer hydrogen. Denne blandingen er av nøyaktig samme natur som den gassen vi nettopp vant ut fra den galvaniske voltasøylen: Det ville være altfor farlig å brenne alt på én gang; jeg har derfor innrettet meg slik at jeg blåser såpebobler med den, og brenner disse boblene, slik at vi ved et allment forsøk eller to kan se hvordan dette oksygenet understøtter hydrogenets forbrenning. Aller først skal vi undersøke om vi klarer å blåse en boble. Vel, der strømmer gassen til [leder den ut gjennom en krittpipe ned i litt såpevann]. Her har jeg en boble. Jeg fanger dem opp i hånden min; og dere vil kanskje tenke at jeg opptrer besynderlig i dette forsøket; men det er for å vise dere at vi ikke alltid skal stole på støy og lyder, men snarere på virkelige kjensgjerninger. [Eksploderer en boble på sin åpne håndflate.] Jeg våger ikke å tenne en boble fra spissen av pipen, fordi eksplosjonen ville slå tilbake inn i beholderen og sprenge den i stykker. Dette oksygenet vil da forene seg med hydrogenet, slik dere ser av fenomenene og hører av smellet, med den største beredvillighet til reaksjon, og alle dets krefter blir da opptatt i å nøytralisere hydrogenets egenskaper.

Demonstrasjon F4-D22: Såpebobler fylt med knallgass eksploderes i åpen håndflate

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a vessel containing one volume of oxygen and two volumes of hydrogen. This mixture is exactly of the same nature as the gas we just now obtained from the voltaic battery»

Sikkerhet for barn: Støkiometrisk hydrogen-oksygenblanding detonerer med trykkbølge og høyt smell. Eksplosjonsfare og fare for tilbakeslag inn i gassbeholder; strengt forbudt for barn under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Knallgassblandingen ($2H_2 + O_2$) har en detonasjonshastighet på over 2800 m/s i rør. Faraday advarer uttrykkelig mot tilbakeslag i pipen; forbrenningsbølgen forplanter seg raskere enn gassens utstrømningshastighet og ville ha knust glassreservoaret i splinter dersom flammen nådde munningen.

Så nå tror jeg dere vil forstå hele historien om vann med hensyn til oksygen og luften, ut fra det vi tidligere har sagt. Hvorfor spalter en bit kalium vann? Fordi det finner oksygen i vannet. Hva frigjøres når jeg legger det i vannet, slik jeg akter å gjøre igjen? Det frigjør hydrogen, og hydrogenet brenner; men kaliumet selv forener seg med oksygenet; og denne biten av kalium tar, når den river vannet fra hverandre — det vannet som, kan dere si, stammer fra stearinlysets forbrenning — bort det oksygenet som lyset hentet fra luften, og setter således hydrogenet fritt; og endog dersom jeg tar et stykke is og legger en bit kalium oppå det, er de vidunderlige slektskapsforholdene som oksygen og hydrogen er bundet sammen med, av en slik art at isen rent faktisk vil sette fyr på kaliumet. Jeg viser dette til dere i dag for å utvide forestillingene deres om disse tingene, og for at dere skal få se hvor overmåte sterkt resultatene modifiseres av omstendighetene. Der ser dere kaliumet på isen, som frembringer et slags vulkansk utbrudd.

Demonstrasjon F4-D23: Kaliumstykke kastet i vann antennes spontant og forbrenner frigjort hydrogen

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Why does a piece of potassium decompose water? Because it finds oxygen in the water. What is set free when I put it in the water, as I am about to do again? It sets free hydrogen, and the hydrogen burns»

Sikkerhet for barn: Alkalimetall i vann reagerer momentant under dannelse av selvantennende hydrogen og etsende kalilut. Eksplosjons- og sprutfare; strengt forbudt under regel D.

Demonstrasjon F4-D24: Kaliumstykke lagt på en isblokk antennes og brenner med vulkansk reaksjon

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «and even if I take a piece of ice, and put a piece of potassium upon it, the beautiful affinities by which the oxygen and the hydrogen are related are such, that the ice will absolutely set fire to the potassium.»

Sikkerhet for barn: Kaliummetall reagerer voldsomt selv ved frysepunktet på fast is; utvikler hydrogenflamme og slynger ut smeltede etsende partikler. Forbudt for barn under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Reaksjonen mellom kalium og vann/is er sterkt eksoterm: $2K(s) + 2H_2O(s/l) \rightarrow 2KOH(aq) + H_2(g) + \text{varme}$. Kaliums lave førstegrads ioniseringsenergi (418,8 kJ/mol) gjør at elektronoverføringen til hydrogenionene skjer momentant selv ved 0 °C. Varmen smelter isen lokalt, fordamper kaliumatomer som farger flammen fiolett ved 766,5 nm, og antenner hydrogengassen i atmosfærens oksygen.

Det vil bli min oppgave når vi neste gang møtes, etter at jeg nå har pekt på disse uvanlige reaksjonene, å vise dere at ingen av disse ekstraordinære og underlige virkningene møter oss — at ingen av disse fremmede og skadelige virkningene finner sted når vi brenner ikke bare et stearinlys, men gass i gatene våre eller brensel i peisene våre, så lenge vi holder oss innenfor de lovene som Naturen har fastsatt til vår veiledning.

Forelesning V: Oksygen i luften — Atmosfærens natur og egenskaper — Andre produkter fra stearinlyset — Karbondioksid og dets egenskaper

Vi har nå sett at vi kan frembringe hydrogen og oksygen fra vannet vi vant ut fra stearinlyset. Hydrogenet, vet dere, stammer fra lyset, og oksygenet, antar dere, stammer fra luften. Men da har dere full rett til å spørre meg: «Hvordan kan det ha seg at luften og oksygenet ikke brenner lyset like godt?» Dersom dere husker hva som hendte da jeg satte en glassklokke med oksygen over en lysstump, minnes dere at det foregikk en ganske annen form for forbrenning enn den som fant sted i vanlig luft. Hva kommer nå dette av? Det er et overmåte viktig spørsmål, og et spørsmål jeg skal bestrebe meg på å forklare for dere: Det angår atmosfærens innerste vesen på det nærmeste, og er av den største betydning for oss alle.

Vi rår over flere prøver på oksygen enn den blotte forbrenningen av legemer. Dere har sett et lys brenne i oksygen eller i luften; dere har sett fosfor brenne i luften eller i oksygen; og dere har sett jernspon brenne i oksygen. Men vi har andre prøver i tillegg til disse, og jeg akter nå å henvise til en eller to av dem i den hensikt å styrke overbevisningen deres og utvide erfaringen deres ytterligere.

Her har vi en beholder med oksygen. Jeg skal påvise dets nærvær for dere: Hvis jeg tar en liten glødende gnist og fører den inn i dette oksygenet, vet dere, ut fra erfaringen dere vant forrige gang vi møttes, hva som vil hende; hvis jeg fører denne gnisten ned i glasset, vil den fortelle dere om vi har oksygen her eller ei. Ja, ganske visst! Vi har bevist det ved forbrenning; og her har vi nå en annen prøve på oksygen, som er både overordentlig merkverdig og nyttig.

Jeg har her to glass fylt med gass, med en glassplate imellom for å hindre at de blander seg; jeg fjerner platen, og gassene trenger inn i hverandre. «Hva skjer?» spør dere: «De frembringer jo i fellesskap ingen slik forbrenning som vi så med stearinlyset.» Men legg merke til hvordan oksygenets nærvær røpes ved dets forening med dette andre stoffet. For en vakkert farget gass jeg har frembrakt på denne måten, som røper for meg at oksygenet er til stede!

På samme vis kan vi prøve dette forsøket ved å blande vanlig luft med denne prøvegassen. Her er et glass som inneholder luft — slik luft som stearinlyset ville brenne i — og her er et glass eller en flaske som inneholder prøvegassen. Jeg lar dem møtes over vann, og dere ser resultatet: Innholdet i prøveflasken strømmer inn i glasset med luft, og dere ser at jeg oppnår nøyaktig samme slags virkning som før, og dette viser meg at det finnes oksygen i luften — nøyaktig det samme stoffet som vi allerede har utvunnet fra vannet som stearinlyset frembrakte.

Men hvorfor er det da slik at lyset ikke brenner like godt i luft som i rent oksygen? La oss gå rett løs på det spørsmålet. Jeg har her to glass; de er fylt til samme høyde med gass, og for øyet ser begge like ut, og jeg vet sannelig ikke for øyeblikket hvilket av disse glassene som inneholder oksygen og hvilket som inneholder luft, skjønt jeg vet at de på forhånd ble fylt med disse gassene. Men her er prøvegassen vår, og jeg skal arbeide med begge glassene for å undersøke om det er noen forskjell på dem i evnen til å gjøre denne gassen rød. Jeg skal nå helle denne prøvegassen over i et av glassene, og legge merke til hva som hender. Der blir den rød, ser dere; da er det oksygen til stede. La oss nå prøve det andre glasset; men dere ser at dette ikke blir like tydelig rødt som det første.

Og videre skjer dette underlige: Dersom jeg tar disse to gassene og ryster dem grundig sammen med vann, vil vi absorbere den røde gassen; og dersom jeg så tilsetter mer av denne prøvegassen og ryster på ny, vil vi absorbere enda mer; og slik kan jeg fortsette så lenge det finnes oksygen til stede for å frembringe denne virkningen. Om jeg slipper inn luft, gjør det ingenting; men i samme øyeblikk som jeg tilfører vann, forsvinner den røde gassen; og jeg kan fortsette på denne måten, og tilsette mer og mer av prøvegassen, inntil jeg når fram til en rest som overhodet ikke lenger lar seg farge rød ved hjelp av dette særskilte stoffet som gjorde luften og oksygenet rødt. Hva kommer det av? Dere innser straks at det skyldes at det foruten oksygen finnes noe annet til stede som blir liggende igjen. Jeg skal slippe litt mer luft inn i glasset, og dersom det da blir rødt, vet dere at noe av denne rødfargende gassen fremdeles var til stede, og at luften følgelig ikke ble stående igjen fordi det manglet prøvegass.

Demonstrasjon F5-D01: Påvisning av oksygengass ved hjelp av glødende treflis

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here we have a vessel of oxygen. I will shew its presence to you: if I take a little spark and put it into that oxygen, you know, by the experience you gained the last time we met, what will happen; if I put that spark into the jar, it will tell you whether we have oxygen here or not.»

Sikkerhet for barn: Ren oksygengass forårsaker momentan og voldsom oppflamming av glødende gjenstander med akutt brannfare. Forbudt for barn under regel D.

Demonstrasjon F5-D02: Prøve på oksygengass ved sammenblanding med nitrogenmonoksid

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here two jars full of gas, with a plate between them to prevent their mixing; I take the plate away, and the gases are creeping one into the other... What a beautifully coloured gas I have obtained in this way, shewing me the presence of the oxygen!»

Sikkerhet for barn: Reaksjonen danner rødbrun nitrogendioksidgass (NO_2), som er akutt giftig og sterkt etsende for luftveiene. Må kun utføres i avtrekksskap av fagfolk.

Demonstrasjon F5-D03: Sammenblanding av vanlig atmosfæreluft med nitrogenmonoksid over vann

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a jar containing air—such air as the candle would burn in—and here is a jar or bottle containing the test-gas. I let them come together over water, and you see the result: the contents of the test-bottle are flowing into the jar of air, and you see I obtain exactly the same kind of action as before»

Sikkerhet for barn: Utvikling av helseskadelig nitrogendioksidgass over vannbad; giftige kjemikalier under strengt forbud etter regel D.

Demonstrasjon F5-D04: Skille luft fra rent oksygen ved trinnvis tilsetning av testgass og vannabsorpsjon

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here two jars; they are filled to the same height with gas, and the appearance to the eye is alike in both, and I really do not know at present which of these jars contains oxygen and which contains air... I am now going to turn this test-gas into one of the jars... if I take these two gases and shake them well together with water, we shall absorb the red gas»

Sikkerhet for barn: Risting av giftige gasser og dannelse av salpetersyreløsning i lukkede glasskar. Kun historisk laboratoriedemonstrasjon under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Faradays prøvegass var nitrogenmonoksid (NO, dengang kalt «nitrous gas»). Når fargeløs NO kommer i kontakt med oksygengass (O_2), skjer en spontan oksidasjon til rødbrun nitrogendioksid: $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$. Ved risting med vann løser NO_2 seg under dannelse av salpetersyre og salpetersyrlighet: $2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2$. Gassen som blir stående uforandret igjen etter at alt oksygen er bundet og vasket ut, er kvelstoff (nitrogen). Dette var Joseph Priestleys opprinnelige «eudiometriske» metode fra 1772 for å måle luftens innhold av «livsluft» (oksygen).

Nå begynner dere å forstå hva jeg vil frem til. Dere så at da jeg brente fosfor i en glassklokke, og røyken som fosforet og luftens oksygen dannet, kondenserte, ble det stående igjen en anselig mengde uforbrent gass, akkurat slik denne røde gassen etterlot en rest urørt. Det fantes i sannhet denne gassen tilbake, som fosforet ikke kunne rå med, og som den rødfargende gassen ikke kunne rå med; og dette ukjente stoffet er ikke oksygen, men er likevel en del av atmosfæren.

Dette er altså en måte å splitte luften på i de to bestanddelene den består av — oksygen, som brenner lysene våre, fosforet vårt og alle andre brennbare ting; og dette andre stoffet — nitrogen — som ikke vil brenne dem. Denne andre delen av luften utgjør den desidert største andelen, og det er et overmåte underlig stoff når vi undersøker det nærmere; det er bemerkelsesverdig

fascinerende, og likevel vil dere kanskje si at det virker fullkomment uinteressant.

Det er uinteressant i visse henseender på grunn av dette: Det fremviser ingen strålende forbrenningsfenomener. Dersom jeg prøver det med et tindelys slik jeg gjør med oksygen og hydrogen, brenner det verken som hydrogen eller får tindelyset til å brenne som i oksygen. Uansett hvordan jeg prøver det, gjør det verken det ene eller det andre: Det fatter ikke ild; det tillater ikke lyset å brenne; det kveler forbrenningen av enhver ting. Det finnes intet som vil brenne i det under vanlige omstendigheter. Det lukter ingenting; det smaker ikke surt; det løser seg ikke i vann; det er verken en syre eller en base; det forholder seg så likegyldig overfor alle våre sanser som det overhodet er mulig for et stoff å gjøre.

Og dere kunne fristes til å si: «Dette er jo ingenting; det fortjener ingen kjemisk oppmerksomhet; hva utretter det i luften?» Men her trer naturfilosofiens vakre og innsiktsfulle lærdommer fram for oss! Tenk om vi i stedet for å ha nitrogen, eller nitrogen og oksygen sammen, hadde rent oksygen som vår atmosfære: Hva ville da bli av oss? Dere vet utmerket godt at en jerntråd som antennes i et glass med oksygen, fortsetter å brenne like til endes. Når dere ser et bål i en jernpeis, forestill dere hvor peisristen ville bli av dersom hele atmosfæren besto av ren oksygengass! Jernristen ville brenne opp langt kraftigere enn kullet — for jernet i selve peisen er endog mer brennbart enn kullstykkene vi legger i den. En ild fyrt opp i hjertet av et lokomotiv ville befinne seg i et brennende kruttkammer dersom atmosfæren var rent oksygen! Nitrogenet demper heten og gjør den mild, moderat og tjenlig for oss; og i tillegg til alt dette fører det med seg dampene som dere har sett stige opp fra lyset, sprer dem gjennom hele lufthavet og frakter dem bort til steder der de kreves for å oppfylle et storslått og herlig formål til beste for mennesket, nemlig til næring for plantelivet. Slik utfører det et uforlignelig verk, skjønt dere ved første øyekast sa: «Hvorfor bry seg, det er jo et fullkomment likegyldig stoff!» Dette nitrogenet i sin vanlige tilstand er et passivt grunnstoff; ingen annen kraft enn den mest intense elektriske spenning, og da bare i uendelig ringe grad, kan formå nitrogenet til å forene seg direkte med atmosfærens øvrige bestanddeler eller andre ting i dets omgivelser; det er et fullkomment likegyldig, og derfor trygt og skånsomt stoff.

Demonstrasjon F5-D05: Prøving av isolert nitrogengass med et tent tindelys

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If I test it with a taper as I do oxygen and hydrogen, it does not burn like hydrogen, nor does it make the taper burn like oxygen. Try it in any way I will, it does neither the one thing nor the other: it will not take fire; it will not let the taper burn; it puts out the combustion of everything.»

Sikkerhet for barn: Innføring av åpen ild i kvelende gassatmosfære i lukket beholder. Kjemisk gassprøving forbeholdt fagpersoner.

> Merknad: **Etter 1861.** Nitrogenmolekylet består av to nitrogenatomer bundet sammen med en ekstremt sterk trippelbinding ($N \equiv N$, bindingsenergi 945 kJ/mol). Dette forklarer hvorfor nitrogengass er kjemisk inert under normale temperaturer. I 1909 utviklet kjemikerne Fritz Haber og Carl Bosch den industrielle Haber-Bosch-prosessen, der nitrogen og hydrogen under høyt trykk (150–250 bar), høy temperatur (400–500 °C) og jernkatalysator bindes til ammoniakk (NH_3). I naturen bindes nitrogen ved lynutladninger og av spesielle nitrogenfikserende bakterier (Rhizobium) i symbiose med belgplanter, oppdaget av Hermann Hellriegel og Martinus Beijerinck i 1888.

Men før jeg fører dere fram til dette resultatet, må jeg fortelle dere om selve atmosfæren. Jeg har skrevet opp på denne tavlen sammensetningen av hundre deler atmosfærisk luft:

Dette er en nøyaktig analyse av atmosfæren hva angår mengden av oksygen og nitrogen som er til stede. Ut fra analysen vår finner vi at 5 måleenheter av atmosfæren inneholder nøyaktig 1 del oksygen og 4 deler nitrogen etter volum. Dette er vår bestemmelse av atmosfæren. Det behøves hele denne mengden nitrogen for å fortynne oksygenet, slik at det forsyner lyset på en skikkelig måte med næring, og likeledes forsyner oss med en atmosfære som lungene våre kan innånde trygt og sunt; for det er like maktpåliggende at oksygenet avstemmes nøyaktig for åndedrettet vårt, som det er å tilpasse atmosfæren til bålets og stearinlysets forbrenning.

> Merknad: **Etter 1861.** Faradays tabell over atmosfæren nevner bare oksygen og nitrogen. I 1894 oppdaget Lord Rayleigh og William Ramsay edelgassen argon (Ar), som utgjør hele 0,934 % av tørr luft etter volum (mer enn 1,28 % etter vekt). Tørr atmosfærisk luft ved havoverflaten består i dag av ca. 78,084 % nitrogen (N_2), 20,946 % oksygen (O_2), 0,934 % argon (Ar), ca. 0,042 % karbondioksid (CO_2, stigende), samt spormengder av neon, helium, metan og krypton.

Men la oss nå se nærmere på denne atmosfæren. Først og fremst skal jeg fortelle dere hva disse gassene veier. En pint nitrogen veier 10,4 grains, eller en kubikkfot veier 1 1/6 ounce [ca. 33 g]. Det er nitrogenets vekt. Oksygenet er tyngre: En pint av det veier 11,9 grains, og en kubikkfot veier 1 3/4 ounce [ca. 50 g]. En pint vanlig luft veier omtrent 10,7 grains, og en kubikkfot omtrent 1 1/5 ounce [ca. 34 g].

Dere har spurt meg flere ganger — og jeg er overmåte glad for at dere har gjort det: «Hvordan veier man gasser?» Jeg skal vise dere det; det er meget enkelt og likefrem å utføre. Her er en vekt, og her er en kobberflaske, laget så lett som råd er uten å gå på bekostning av nødvendig styrke, dreiet overmåte nøyaktig i dreiebenken og gjort fullkomment lufttett, forsynt med en stengekran som vi kan åpne og lukke, og som for øyeblikket står åpen og dermed lar flasken være fylt med vanlig luft. Jeg har her en fint justert balansevekt, der jeg tror flasken i sin nåværende tilstand vil balanseres nøyaktig av loddene på den andre skålen.

Og her er en pumpe som vi kan presse luft inn i denne flasken med; og med den skal vi pumpe inn et bestemt antall volumer luft, målt etter pumpens slag. [Tyve pumpeslag med luft ble presset inn.] Vi stenger kranen og setter flasken på vekten. Se hvordan skålen synker: Den er blitt langt tyngre enn den var! Av hva da? Av luften vi har presset inn i den med pumpen. Det er ikke et større volum av luft i rommål, men det er det samme rommålet fylt med tettere og tyngre luft, fordi vi har presset luft inn over luften som fantes der fra før.

Og for at dere skal få en klar forestilling om hvor mye denne luften utgjør i romfang, har vi her en beholder full av vann. Vi skal koble denne kobberbeholderen til glassklokken over vannet, og la den innestengte luften vende tilbake til sin opprinnelige tilstand. Alt jeg behøver å gjøre nå, er å skru koblingene tett sammen og åpne kranene; og der ser dere romfanget av de tyve pumpeslagene med luft som jeg presset inn i beholderen. Og for å forvisse oss om at vi har gått fullkomment riktig til verks, skal vi bringe flasken tilbake til vekten igjen; og dersom den nå atter oppveies nøyaktig av den opprinnelige motvekten, kan vi være fullstendig trygge på at forsøket vårt er utført med stringens.

Demonstrasjon F5-D06: Veiing av atmosfærisk luft i trykksatt kobberflaske på balansevekt

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a balance, and here a copper bottle, made as light as we can consistent with due strength, turned very nicely in the lathe, and made perfectly air-tight, with a stop-cock, which we can open and shut, which at present is open, and therefore allows the bottle to be full of air. I have here a nicely-adjusted balance, in which I think the bottle, in its present condition, will be balanced by the weight on the other side. And here is a pump by which we can force the air into this bottle, and with it we will force in a certain number of volumes of air, as measured by the pump. [Twenty measures were pumped in.] We will shut that in and put it in the balance. See how it sinks: it is much heavier than it was.»

Sikkerhet for barn: Pumping av trykkluft i metallbeholder med kraner og presisjonsvekt; mekanisk trykkfare under regel D. Skal kun beskrives historisk.

Demonstrasjon F5-D07: Tapping av komprimert luft fra kobberbeholder over i vannklokke og kontrollveiing

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «All I have to do now is to screw them tightly together, and to turn the taps, when there, you see, is the bulk of the twenty pumps of air which I forced into the bottle; and to make sure that we have been quite correct in what we have been doing, we will take the bottle again to the balance, and, if it is now counterpoised by the original weight, we shall be quite sure we have made our experiment correctly.»

Sikkerhet for barn: Håndtering av trykkbeholdere, kraner og pneumatisk gassoppsamling over vannbad. Laboratorieutstyr forbeholdt fagfolk.

Den står i likevekt; således ser dere at vi kan fastslå vekten av de ekstra luftvolumene som ble presset inn på denne måten, og ved hjelp av dette middelet er vi i stand til å fastslå at en kubikkfot luft veier omtrent 1 1/5 ounce [ca. 34 gram, tilsvarende ca. 1,2 kg/m³].

Men dette lille forsøket kan på ingen måte formidle hele den overveldende sannheten om denne saken til sinnet deres. Det er forbløffende hvordan vekten hoper seg opp når man kommer opp i større volumer. Dette rommålet med luft [en kubikkfot] veier bare 1 1/5 ounce. Hva tror dere da om innholdet i den store kassen der oppe, som jeg har fått laget særskilt for dette formålet? Luften som befinner seg inne i den kassen, veier et helt pund — et fullt pund! Og jeg har regnet ut vekten av luften i denne forelesningssalen: Dere ville neppe ane det, men den veier over et tonn! Så raskt stiger vektene, og så betydningsfullt er atmosfærens nærvær, og oksygenet og nitrogenet i den, samt oppgaven den utfører ved å føre ting frem og tilbake fra sted til sted, og feie bort skadelige gasser til egner der de gjør nytte i stedet for skade.

> Merknad: **Etter 1861.** Luftens densitet ved havoverflaten og standardbetingelser (0 °C og 1013,25 hPa) er ca. 1,293 kg/m³. Ved vanlig romtemperatur (20 °C) er densiteten ca. 1,204 kg/m³. I en forelesningssal på 15 × 12 × 5 meter (et volum på 900 kubikkmeter) veier luften over 1080 kg, nøyaktig som Faraday beregnet da han oppga at luften i rommet veier over et tonn.

Etter å ha gitt dere denne lille anskueliggjøringen av luftens vekt, la meg vise dere noen av konsekvensene av den. Dere har krav på å kjenne dem, for dere ville ikke forstå like mye uten dem. Husker dere dette slags forsøk? Har dere noen gang sett det? Anta at jeg tar en pumpe nokså lik den jeg nettopp brukte til å presse luft inn i kobberflasken med, og antar at jeg stiller den opp slik at jeg ved en bestemt innretning kan legge hånden min over munningen: Hånden min beveger seg så fritt i den omgivende luften at den knapt kjenner noe, og jeg kan vanskelig oppnå stor nok fart ved egen bevegelse i atmosfæren til å overbevise meg om at den yter noen motstand overhodet.

Men når jeg legger hånden min her [på glassylinderen til vakuumpumpen, som deretter tømmes for luft], ser dere hva som hender. Hvorfor blir hånden min suget fast til denne åpningen, og hvorfor kan jeg løfte hele pumpen etter hånden? Og se: Hvorfor kan jeg knapt rive hånden min løs? Hva kommer dette av? Det er luftens vekt — vekten av luftsøylen som hviler ovenfra!

Jeg har et annet forsøk her, som jeg tror vil forklare dette enda tydeligere for dere. Når luften pumpes ut fra undersiden av dyreblæren som er spent over dette glasset, vil dere få se virkningen i en annen skikkelse: Toppen er fullstendig flat for øyeblikket, men jeg skal gjøre en ganske liten bevegelse med pumpen, og se nå på den — se hvordan den har sunket inn, se hvordan den buler nedover! Dere vil se blæren synke dypere og dypere inn, inntil jeg forventer at den til slutt vil presses i stykker og briste under vekten av atmosfæren som trykker på den.

Demonstrasjon F5-D08: Håndflate festet til vakuumpumpens åpning av det utvendige atmosfæretrykket

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «when I put my hand here [on the air-pump receiver, which was afterwards exhausted], you see what happens. Why is my hand fastened to this place, and why am I able to pull this pump about? And see! how is it that I can hardly get my hand away?»

Sikkerhet for barn: Vakuumpumpe skaper kraftig undertrykk som suger huden og bløtvevet fast; akutt fare for hevelser, bloduttredelser og vevsskade. Forbudt for barn under regel D.

[Blæren brast til sist med et kraftig smell.] Dette ble utelukkende utrettet av vekten av luften som presset ovenfra, og dere kan lett forstå hvordan dette henger sammen. Partiklene som er stablet opp i atmosfæren, hviler på hverandre slik disse fem klossene gjør. Dere kan lett fatte at fire av disse fem klossene hviler på den nederste; og hvis jeg tar den nederste bort, vil alle de andre rase ned. Slik er det med atmosfæren: Luften som befinner seg ovenfor, bæres oppe av luften som er nedenunder; og når luften pumpes bort under dem, oppstår den forandringen dere så da jeg la hånden over pumpen, og som dere så ved dyreblæren, og som dere skal få se enda bedre her.

Jeg har bundet et stykke gummimembran over dette glasset, og jeg skal nå fjerne luften fra innsiden av karet; og hvis dere følger med på gummiduken — som tjener som en skillevegg mellom luften under og luften over — vil dere se hvordan trykket gjør seg gjeldende når jeg pumper. Se hvor langt ned den presses — jeg kan faktisk stikke hele hånden min ned i glasset; og likevel

forårsakes dette utelukkende av luftens mektige og veldige trykk ovenfra. Hvor mesterlig anskueliggjør ikke dette dette merkverdige fenomenet!

Demonstrasjon F5-D09: Dyreblære spent over glassylinder sprenges under kraftig vakuumsug

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «When the air is pumped from underneath the bladder which is stretched over this glass, you will see the effect in another shape: the top is quite flat at present, but I will make a very little motion with the pump, and now look at it—see how it has gone down, see how it is bent in.»

Sikkerhet for barn: Plutselig sprengning av membran under høyt trykk med eksplosjonsartet smell og fare for glassprut. Mekanisk trykkforsøk under regel D.

Demonstrasjon F5-D10: Gummimembran spent over glasskar suges dypt inn under vakuumpumping

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have tied over this jar a piece of sheet india-rubber, and I am now about to take away the air from the inside of the jar; and if you will watch the india-rubber—which acts as a partition between the air below and the air above—you will see, when I pump, how the pressure shews itself.»

Sikkerhet for barn: Glassylinder under sterkt undertrykk med risiko for mekanisk kollaps og knusing. Forbeholdt faglærer.

> Merknad: **Etter 1861.** Atmosfæretrykket ved havoverflaten er i gjennomsnitt 101,3 kPa, noe som tilsvarer en kraft på omtrent 10,13 newton per kvadratcentimeter (ca. 1,03 kg per cm²). På en håndflate eller en utspent membran med et areal på 100 cm² utgjør dette et samlet trykk på over 100 kg. Når motgående luftmolekyler fjernes ved evakuering, presses membranen innover eller knuses med et voldsomt smell (implosjon).

Her er noe dere kan få prøve krefter på når jeg er ferdig i dag. Det er et lite apparat bestående av to hule messinghalvkuler som slutter tett sammen, og som er forbundet med et rør og en stengekran som vi kan suge luften ut gjennom. Og skjønt de to halvdelene lar seg skille så lett fra hverandre når luften finnes inne i dem, vil dere likevel oppdage at når vi pumper luften ut like etterpå, vil ingen kraft fra to av dere formå å trekke dem fra hverandre. Hver eneste kvadrattomme av overflaten på denne beholderen bærer en vekt på femten pund, eller tilnærmet det, når luften er fjernet; og dere kan få prøve styrken deres om en stund for å se om dere kan overvinne dette trykket fra atmosfæren.

Demonstrasjon F5-D11: De magdeburgske halvkuler holdes sammen av det ytre lufttrykket

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «It is a little apparatus of two hollow brass hemispheres, closely fitted together, and having connected with it a pipe and a cock, through which we can exhaust the air from the inside; and although the two halves are so easily taken apart, while the air is left within, yet you will see, when we exhaust it by-and-by, no power of any two of you will be able to pull them apart.»

Sikkerhet for barn: Tunge metallhalvkuler evakuert med vakuumpumpe; fare for klemskader og fallskader dersom forseglingen plutselig slipper under kraftig drag. Kun demonstrasjon.

> Merknad: **Etter 1861.** Dette berømte apparatet kalles de magdeburgske halvkuler, oppfunnet av den tyske fysikeren og borgermesteren Otto von Guericke i 1654. For å demonstrere atmosfæretrykkets makt for keiser Ferdinand III lot Guericke to par med hestespann (opptil 16 hester) spenne for to evakuerte kobberhalvkuler på 50 cm diameter uten at de maktet å rive dem fra hverandre. Kraften som holder halvkulene sammen tilsvarer $F = \Delta P \cdot \pi r^2$.

Her er en annen overmåte fin ting — guttas sugekopp, bare foredlet av naturfilosofen. Vi unge har full rett til å ta leketøy og forvandle det til filosofi, ettersom man i våre dager stadig vender filosofi til leker! Her er en sugekopp, bare at den er laget av gummi: Dersom jeg smekker den ned mot bordplaten, ser dere straks at den sitter fast. Hvorfor henger den fast? Jeg kan skyve den sidelengs langs bordet, og likevel, dersom jeg forsøker å løfte den rett opp, virker det som om den vil løfte hele bordet med seg!

Jeg kan lett la den gli fra sted til sted; men først når jeg fører den helt ut til bordkanten, kan jeg få den løs. Den holdes utelukkende nede av atmosfærens trykk ovenfra. Vi har to stykker av dem; og hvis dere tar disse to og presser dem sammen mot hverandre, vil dere se hvor ubrytelig de kleber seg sammen. Og vi kan sannelig bruke dem slik de er tiltenkt, til å feste mot vinduer eller vegger, hvor de vil sitte fast en hel kveld og tjene til å henge opp hva det måtte være dere ønsker.

Jeg mener likevel at dere gutter og jenter bør få se forsøk som dere kan gjøre hjemme; og her er derfor et overordentlig vakkert forsøk til opplysning om atmosfærens trykk. Her er et drikkeglass med vann. Sett at jeg ba dere snu dette glasset opp ned, slik at vannet ikke faller ut, og likevel uten at det holdes inne av hånden deres, men utelukkende ved å gjøre bruk av atmosfæretrykket: Ville dere klare det? Ta et glass — enten det er helt fullt eller halvfullt av vann — og legg et flatt, stivt pappkort over toppen; snu det forsiktig opp ned, og se hva som skjer med kortet og med vannet! Luften slipper ikke inn, fordi vannet ved sin kapillære tiltrekning langs randen stenger den ute.

Demonstrasjon F5-D12: Sugekopp av gummi presset mot bordflate og to sugekopper klemt sammen

[Prøv hjemme]

Kildeanker: «Here is another very pretty thing—the boys' sucker, only refined by the philosopher. We young ones have a perfect right to take toys, and make them into philosophy... Here is a sucker, only it is made of india-rubber: if I clap it upon the table, you see at once it holds. Why does it hold? I can slip it about, and yet if I try to pull it up, it seems as if it would pull the table with it... We have a couple of them; and if you take these two and press them together, you will see how firmly they stick.»

Sikkerhet for barn: Enkel sugekopp av gummi eller myk plast presset mot en glatt overflate eller mot en annen sugekopp. Fullstendig trygt og lærerikt for barn å utforske atmosfæretrykket med.

Demonstrasjon F5-D13: Glass med vann og et flatt pappkort snudd opp ned uten at vannet renner ut

[Prøv hjemme]

Kildeanker: «Take a wine-glass, either quite full or half-full of water, and put a flat card on the top, turn it upside-down, and then see what becomes of the card and of the water. The air cannot get in because the water by its capillary attraction round the edge keeps it out.»

Sikkerhet for barn: Hverdagsforsøk med vann og et flatt postkort. Utfør gjerne forsøket over en oppvaskkum eller bruk en plastkopp, slik at det ikke blir søl eller knust glass dersom kortet glipper.

> Merknad: **Etter 1861.** Når et vannglass med et flatt kort snus opp ned, danner vannet en tynn væskehinne langs kanten. Væskens overflatespenning forsegler åpningen mot innsig av luft. Det utvendige atmosfæretrykket (ca. 101 kPa) virker oppover mot undersiden av kortet og motvirker vekten av vannsøylen i glasset (som ved 10 cm høyde bare utøver ca. 1 kPa trykk). Så lenge kortet holdes plant og luft ikke bobler inn, forblir vannet oppe.

Jeg tror dette vil gi dere et riktig begrep om det man kan kalle luftens fysiske stofflighet; og når jeg forteller dere at kassen rommer et pund luft og dette rommet mer enn et tonn, vil dere begynne å innse at luft er et høyst reelt stoff.

Jeg skal gjøre et annet forsøk for å overbevise dere om denne håndfaste motstandskraften. Dere kjenner det vakre forsøket med sprettrøret eller potetbørsen, som lages så greit og enkelt av en fjærpenn, et rør eller noe lignende — der vi for eksempel tar en potetskive eller et eple, stikker røret igjennom og skjærer ut en propp, slik jeg nettopp har gjort, og skyver den inn til den ene enden. Jeg har nå gjort den enden tett; og så tar jeg en ny bit og setter inn i den andre enden: Den vil stenge luften inne i røret fullkomment for formålet vårt; og jeg skal nå finne det aldeles umulig ved noen kraft fra min side å presse denne bakerste proppen helt bort til den andre! Det lar seg ganske enkelt ikke gjøre. Jeg kan presse luften sammen til en viss grad, men dersom jeg fortsetter å trykke, vil den innestengte luften lenge før den bakerste proppen når den fremste, skyte den fremre proppen ut med en kraft som minner om krutt; for kruttets virkning beror for en del på nøyaktig den samme kraftutfoldelsen som dere ser eksemplifisert her.

Demonstrasjon F5-D14: Potetbørse med innestengt luft som skyter ut en potetpropp

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «There is that beautiful experiment of the popgun, made so well and so easily, you know, out of a quill, or a tube, or anything of that kind,—where we take a slice of potato, for instance, or an apple, and take the tube and cut out a pellet, as I have now done, and push it to one end... the confined air will drive the front one out with a force something like that of gunpowder»

Sikkerhet for barn: Lufttrykket kan skyte potetproppen ut med betydelig kraft. Må kun utføres under tilsyn av en voksen; sikt aldri mot ansikt, øyne eller andre personer.

Jeg så forleden dag et forsøk som gledet meg overmåte, ettersom jeg tenkte det ville tjene formålet vårt her i dag. (Jeg burde ha tiet stille i fire eller fem minutter før jeg begynte på dette forsøket, for det avhenger av lungekraften min for å lykkes!) Ved en hensiktsmessig anvendelse av luft håper jeg å kunne drive dette egget ut av det ene eggeglasset og over i det andre utelukkende ved kraften fra mitt eget pust; men skulle jeg mislykkes, skjer det i en god saks tjeneste; og jeg lover intet hell, ettersom jeg har talt langt mer enn jeg burde gjøre for at forsøket skal lykkes lett.

[Foreleseren prøvde her forsøket, og lyktes i å blåse egget fra det ene eggeglasset over i det andre.]

Dere ser at luften jeg blåser, trenger nedover mellom egget og veggen i eggeglasset, danner et lufttrykk under egget og er således i stand til å løfte en tung gjenstand — for et helt egg er en overmåte tung ting for luft å løfte! Dersom dere ønsker å gjøre dette forsøket selv, bør dere koke egget ganske hardt først, og deretter kan dere trygt prøve å blåse det fra det ene eggeglasset over i det andre med en smule øvelse og forsiktighet.

Demonstrasjon F5-D15: Blåse et hardkokt egg fra ett eggeglass over i et annet med pusten

[Prøv hjemme]

Kildeanker: «By the proper application of air I expect to be able to drive this egg out of one cup into the other by the force of my breath... If you want to make the experiment, you had better boil the egg quite hard first, and then you may very safely try to blow it from one cup to the other, with a little care.»

Sikkerhet for barn: Helt ufarlig selskapsfysikk for barn. Bruk alltid et hardkokt og avkjølt egg, slik at det ikke knuses og lager kladderi dersom det bommer på det andre eggeglasset.

> Merknad: **Etter 1861.** Når man blåser kraftig ned langs kanten av egget, oppstår en strømning som delvis følger Bernoullis prinsipp og fluidmekanisk trykkoppbygging i bunnen av begeret. Den komprimerte luften under egget skaper et overtrykk som overvinner tyngdekraften og slynger egget opp i luften over i nabobegeret.

Nå har jeg oppholdt dere lenge nok ved denne egenskapen ved luftens vekt, men det er enda en ting jeg gjerne vil nevne. Dere så hvordan jeg i denne potetbørsen maktet å skyve den andre potetbiten en halv eller to tredjedels tomme inn før den første proppen føk av sted, i kraft av luftens elastisitet — nøyaktig slik jeg med pumpen presset luftpartiklene sammen inne i kobberflasken. Dette hviler på en vidunderlig egenskap ved luften, nemlig dens spenst og elastisitet; og jeg vil gjerne gi dere en anskuelig demonstrasjon av dette.

Dersom jeg tar noe som stenger luften forsvarlig inne, slik som denne membranen, som likeledes er i stand til å trekke seg sammen og utvide seg for å gi oss et mål på luftens elastisitet, og stenger en bestemt porsjon luft inne i denne blæren; og hvis vi så fjerner atmosfæren fra utsiden av den, akkurat slik vi i de foregående tilfellene la trykk på — hvis vi fjerner det ytre trykket, vil dere se hvordan den vil fortsette å utvide seg og ese ut, større og større, inntil den fyller hele denne glassklokken! Dette viser dere denne forunderlige egenskapen ved luften: Dens elastisitet, dens sammentrykkbarhet og dens utvidelsesevne i overmåte stor skala, som er så vesentlig for alle dens formål og tjenester i skaperverkets husholdning.

Demonstrasjon F5-D16: Luftfylt blære utvider seg kraftig under glassklokke når ytre trykk pumpes bort

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If I take anything that confines the air properly, as this membrane, which also is able to contract and expand so as to give us a measure of the elasticity of the air, and confine in this bladder a certain portion of air; and then, if we take the atmosphere off from the outside of it, just as in these cases we put the pressure on—if we take the pressure off, you will see how it will then go on expanding and expanding, larger and larger, until it will fill the whole of this bell-jar, shewing you that wonderful property of the air, its elasticity, its compressibility, and expansibility»

Sikkerhet for barn: Glassklokke under vakuumpumping med fare for implosjon og glassprut. Laboratoriedemonstrasjon under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Luftens sammentrykkbarhet og elastisitet beskrives matematisk ved Boyles lov ($P \cdot V = \text{konstant}$ ved jevn temperatur) og den ideelle gassloven ($PV = nRT$). Kinetisk gassteori, formulert av Rudolf Clausius (1857), James Clerk Maxwell (1860) og Ludwig Boltzmann, forklarer at gassers trykk skyldes utallige elastiske kollisjoner mellom molekyler i konstant bevegelse.

Vi skal nå vende oss mot en annen overmåte viktig del av emnet vårt, idet vi minnes at vi har undersøkt stearinlyset under dets brenning og funnet at det gir opphav til flere ulike produkter. Vi har som dere vet produktene sot, vann og noe annet som dere ennå ikke har undersøkt. Vi har samlet opp vannet, men latt de øvrige stoffene fare ut i luften. La oss nå undersøke noen av disse andre produktene.

Her er et forsøk som jeg tror vil hjelpe dere et stykke på vei. Vi setter stearinlyset vårt her, og plasserer en glassylinder over det, slik. Jeg tror lyset mitt vil fortsette å brenne, fordi luftpassasjen er åpen både i bunnen og i toppen. For det første ser dere at det dannes fuktighet — det kjenner dere til fra før. Det er vann frembrakt av lyset ved luftens innvirkning på hydrogenet i det.

Men i tillegg til dette strømmer det noe ut av toppen: Det er ikke fuktighet — det er ikke vann — det lar seg ikke kondensere; og likevel har det høyst eiendommelige egenskaper. Dere vil oppdage at luften som stiger opp av toppen av glassylinderen, er nesten tilstrekkelig til å slukke lyset jeg holder borttil; og dersom jeg plasserer lyset midt imot luftstrømmen, vil den blåse det fullstendig ut! Dere vil si at dette er som det bør være; og jeg antar dere mener det bør gjøre det fordi nitrogen ikke understøtter forbrenning og må kvele lyset, ettersom et stearinlys ikke kan brenne i nitrogen.

Demonstrasjon F5-D17: Stearinlys som brenner inne i glassylinder med fuktdannelse og kvelende lufttrekk

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «We will put our candle there, and place over it a chimney, thus. I think my candle will go on burning, because the air-passage is open at the bottom and the top. In the first place, you see the moisture appearing—that you know about... You will find that the air coming out of the top of our chimney is nearly sufficient to blow the light out I am holding to it; and if I put the light fairly opposed to the current, it will blow it quite out.»

Sikkerhet for barn: Brennende stearinlys i glassrør blir overmåte varmt. Må kun gjøres sammen med en voksen på et brannsikkert bord; pass opp for varmt glass og åpen flamme.

Men finnes det intet annet der enn nitrogen? Jeg må nå foregripe begivenhetenes gang — det vil si at jeg må ta i bruk min egen kunnskap for å forsyne dere med metodene vi anvender for å fastslå disse tingene og undersøke slike gasser. Jeg tar en tom flaske — her er en — og dersom jeg holder den over denne glassylinderen, vil forbrenningen fra lyset under sende sine virkninger opp i flasken over; og vi skal snart finne at denne flasken ikke bare rommer en luft som er uegnet til å brenne et tindelys i, men som besitter ganske andre egenskaper.

Demonstrasjon F5-D18: Oppsamling av gasser fra lysflammens forbrenning i en omvendt glassflaske

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «I will take an empty bottle—here is one—and if I hold it over this chimney, I shall get the combustion of the candle below sending its results into the bottle above; and we shall soon find that this bottle contains, not merely an air that is bad as regards the combustion of a taper put into it, but having other properties.»

Sikkerhet for barn: Glassflaske holdes over en varm lysflamme for å samle røykgasser. Utføres sammen med en voksen; bruk grytekluter dersom flasken blir varm.

La meg ta en smule brent kalk og helle litt vanlig vann over den — det simpleste vann duger utmerket. Jeg rører om et øyeblikk, og heller det deretter på et filtrerpapir i en trakt; og vi vil overmåte raskt få et krystallklart vann som drypper ned i flasken under, nøyaktig slik jeg har her. Jeg har rikelig med dette vannet i en annen flaske; men jeg vil likevel gjerne bruke kalkvannet som ble tilberedt for øynene deres, slik at dere kan se hva det tjener til.

Dersom jeg tar litt av dette vakre, klare kalkvannet og heller det ned i dette glasset, som har samlet opp luften fra stearinlyset, vil dere se en forandring inntreffe. Ser dere at vannet er blitt fullstendig melkehvitt? Legg merke til at dette ikke vil skje med vanlig luft. Her er en flaske fylt med luft; og dersom jeg heller litt kalkvann ned i den, vil verken oksygenet, nitrogenet eller noe annet som finnes i denne luftmengden, frembringe noen forandring i kalkvannet. Det forblir fullkomment klart, og ingen risting av denne mengden kalkvann med den mengden luft i dens vanlige tilstand vil forårsake noen endring; men dersom jeg tar denne flasken med kalkvann og holder den slik at den fanger opp forbrenningsproduktene fra stearinlyset, vil vi i løpet av ganske kort tid få det melkefarget.

Der ser dere krittet, bestående av kalken vi brukte da vi tilberedte kalkvannet, forent med noe som stammet fra lyset — dette andre produktet som vi er på leting etter, og som jeg vil fortelle dere om i dag. Dette er et stoff som gjøres synlig for oss ved sin virkning — en virkning som kalkvannet verken utøver overfor oksygen, nitrogen eller overfor selve vannet, men det er noe nytt for oss fra stearinlyset. Og vi oppdager at dette hvite pulveret, frembrakt av kalkvannet og dampen fra lyset, fortoner seg for oss nøyaktig likt slemmet kritt; og når det undersøkes nøyere, viser det seg i sannhet å være nøyaktig det samme stoffet som kritt!

Slik ledes vi, eller er vi blitt ledet, til å iaktta de ulike omstendighetene ved dette forsøket, og til å spore denne dannelsen av kritt tilbake til dens ulike årsaker, for å gi oss den sanne kunnskapen om arten av denne forbrenningen av lyset — og finne at dette stoffet som strømmer ut fra lyset, er nøyaktig det samme som det stoffet som ville strømme ut fra en retort dersom jeg la litt kritt i den med en smule fuktighet og varmet den opp til den ble rødglødende: Dere ville da oppdage at nøyaktig det samme stoffet ville unnslippe fra den som fra stearinlyset.

Demonstrasjon F5-D19: Tilberedning av kalkvann ved lesking av brent kalk og filtrering

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Let me take a little quick-lime and pour some common water on to it—the commonest water will do. I will stir it a moment, then pour it upon a piece of filtering paper in a funnel, and we shall very quickly have a clear water proceeding to the bottle below, as I have here.»

Sikkerhet for barn: Brent kalk (kalsiumoksid, CaO) reagerer voldsomt eksotermt med vann under koking og danner sterkt etsende lesket kalk. Forbudt for barn under regel D.

Demonstrasjon F5-D20: Klart kalkvann rystet med oppsamlet forbrenningsluft fra stearinlys

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «If I take some of this beautiful clear lime-water, and pour it into this jar, which has collected the air from the candle, you will see a change coming about. Do you see that the water has become quite milky?»

Sikkerhet for barn: Ferdigkjøpt eller ferdig filtrert kalkvann helles i gassprøve; kjemikaliehåndtering som krever voksen til stede.

Demonstrasjon F5-D21: Klart kalkvann rystet med ren atmosfærisk luft forblir krystallklart

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Here is a bottle filled with air; and if I put a little lime-water into it, neither the oxygen nor the nitrogen, nor anything else that is in that quantity of air, will make any change in the lime-water. It remains perfectly clear, and no shaking of that quantity of lime-water with that quantity of air in its common state will cause any change»

Sikkerhet for barn: Sammenligningsprøve med kalkvann i lukket flaske; må utføres sammen med en voksen.

Demonstrasjon F5-D22: Flaske med kalkvann holdt like over brennende stearinlys for rask påvisning

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «but if I take this bottle with the lime-water, and hold it so as to get the general products of the candle in contact with it, in a very short time we shall have it milky. There is the chalk, consisting of the lime which we used in making the lime-water, combined with something that came from the candle»

Sikkerhet for barn: Væskefylt glass holdes i nærheten av åpen flamme; krever en voksen til stede for å unngå sot, flammeskader og sprukket glass.

Demonstrasjon F5-D23: Gløding av fuktig kritt i rødglødende laboratorieretort over kullild

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «this substance, issuing from the candle, is exactly the same as that substance which would issue from a retort, if I were to put some chalk into it with a little moisture, and make it red-hot: you would then find that exactly the same substance would issue from it as from the candle.»

Sikkerhet for barn: Termisk kalsinering i rødglødende jernretort under ekstrem hete; kun historisk laboratoriebeskrivelse under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Brent kalk er kalsiumoksid (CaO). Reaksjonen med vann kalles lesking og er kraftig eksoterm: $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ ($\Delta H = -63{,}7$ kJ/mol). Kalsiumhydroksid er tungtløselig i vann (ca. 1,7 g/L ved 20 °C), og den filtrerte, mettede oppløsningen kalles kalkvann. Når karbondioksid (CO_2) bobles gjennom kalkvann, reagerer det med kalsiumioner og danner uløselig kalsiumkarbonat (kritt/kalkspat): $Ca(OH)_2(aq) + CO_2(g) \rightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l)$, som gir den karakteristiske melkehvite uklarheten.

Men vi rår over et bedre middel til å fremskaffe dette stoffet, og i langt større mengde, slik at vi kan fastslå dets allmenne egenskaper. Vi finner dette stoffet i overmåte rikelig overflod i en mengde tilfeller der dere minst ville vente det. Alle kalksteiner inneholder en stor mengde av denne gassen som strømmer ut fra lyset, og som vi kaller karbondioksid (kullsyregass). Alt kritt, alle skjell og alle koraller inneholder en anselig mengde av denne forunderlige luften. Vi finner den bundet i disse bergartene; og av den grunn kalte dr. Black den «fiksert luft» — fordi han fant den fastbundet i slike faste ting som marmor og kritt. Han kalte den fiksert luft fordi den hadde tapt sin luftformige egenskap og antatt et fast legemes tilstand.

Vi kan lett hente denne luften ut av marmor. Her er et glass som inneholder litt muriatisk syre [saltsyre], og her er et tindelys som, dersom jeg fører det ned i glasset, bare vil røpe nærværet av vanlig luft. Der ser dere at det finnes ren luft helt ned til bunnen; glasset er fullt av det. Her er et stoff — marmor, en overmåte vakker og utsøkt marmor — og dersom jeg legger disse marmorbitene ned i glasset, begynner det tilsynelatende å koke voldsomt. Det er imidlertid ikke vanndamp — det er en gass som stiger opp; og dersom jeg nå undersøker glasset med et brennende lys, vil jeg oppnå nøyaktig samme virkning på tindelyset som jeg fikk av luften som strømmet ut av toppen på glassylinderen over det brennende stearinlyset. Det er nøyaktig den samme virkningen, forårsaket av nøyaktig det samme stoffet som unnslipper fra lyset; og på denne måten kan vi fremskaffe karbondioksid i overflod — vi har allerede nesten fylt glasset!

Vi oppdager likeledes at denne gassen ikke bare finnes i marmor. Her er en beholder hvor jeg har lagt litt vanlig slemmet kritt — kritt som er vasket i vann og befridd for sine grovere partikler, slik det leveres til gipsmakere. Her er et stort glass som inneholder dette krittet og vann, og jeg har her litt sterk svovelsyre, som er den syren dere kanskje ville måtte bruke dersom dere skulle utføre disse forsøkene (bare at når man bruker denne syren sammen med kalkstein, er stoffet som dannes et uløselig bunnfall, mens den muriatiske syren danner et lettoppløselig stoff som ikke gjør vannet så tykt). Og dere vil lure på hvorfor jeg velger et slikt apparat for å vise dette forsøket: Jeg gjør det fordi man kan gjenta i det små hva jeg akter å gjøre i stor målestokk. Dere oppnår her nøyaktig samme slags reaksjon; og jeg utvikler i dette store glasset karbondioksid nøyaktig lik i natur og egenskaper som den gassen vi utvant ved stearinlysets forbrenning i atmosfæren. Og uansett hvor ulike de to metodene for å tilberede dette karbondioksidet måtte være, vil dere se når vi når frem til slutten av emnet vårt, at det hele er fullkomment det samme, enten det fremstilles på den ene eller den andre måten.

Demonstrasjon F5-D24: Fremstilling av karbondioksid fra marmor og sterk saltsyre med etterfølgende flammeprøve

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a jar containing a little muriatic acid, and here is a taper which, if I put it into that jar, will shew only the presence of common air... Here is a substance—marble[17], a very beautiful and superior marble—and if I put these pieces of marble into the jar, a great boiling apparently goes on. That, however, is not steam—it is a gas that is rising up; and if I now search the jar by a candle, I shall have exactly the same effect produced upon the taper»

Sikkerhet for barn: Muriatisk syre (konsentrert saltsyre, HCl) er sterkt etsende og danner gass under kraftig oppbrusing; strengt forbudt for barn under regel D.

Demonstrasjon F5-D25: Fremstilling av karbondioksid i stor skala fra slemmet kritt og konsentrert svovelsyre

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a large jar containing this whitening and water, and I have here some strong sulphuric acid, which is the acid you might have to use if you were to make these experiments... and I am evolving in this large jar carbonic acid, exactly the same in its nature and properties as the gas which we obtained from the combustion of the candle»

Sikkerhet for barn: Konsentrert svovelsyre (H_2SO_4) forårsaker alvorlige kjemiske etseskader og kraftig varmeutvikling ved kontakt med kalk og vann. Kun laboratoriedemonstrasjon under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Muriatisk syre er det historiske navnet på saltsyre (HCl). Reaksjonen med kalsiumkarbonat er: $CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$. Kalsiumklorid er lettoppløselig i vann (745 g/L ved 20 °C), så oppløsningen forblir klar. Med svovelsyre dannes tungtløselig kalsiumsulfat (gips): $CaCO_3(s) + H_2SO_4(aq) + H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O(s) + CO_2(g)$. Gipsen felles ut som et tykt, hvitt belegg som kapsler inn krittpartiklene og stanser videre gassutvikling.

La oss nå gå videre til det neste forsøket med hensyn til denne gassen. Hva er dens vesen? Her er en beholder fylt med den, og vi skal prøve den, slik vi har prøvd så mange andre gasser, ved forbrenning. Dere ser at den verken er brennbar i seg selv, og heller ikke understøtter forbrenning. Den løser seg heller ikke særlig i vann, slik vi vet, ettersom vi overmåte lett samler den opp over vannbad. Videre vet dere at den har en bestemt virkning på kalkvann og gjør det hvitt ved berøring; og når den blir hvit på denne måten, blir den en av bestanddelene som bygger opp kalsiumkarbonat eller kalkstein.

Demonstrasjon F5-D26: Prøving av ren karbondioksidgass med tent tindelys som slukkes momentant

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «What is its nature? Here is one of the vessels full, and we will try it, as we have done so many other gases, by combustion. You see it is not combustible, nor does it support combustion.»

Sikkerhet for barn: Flammeprøve i beholder med kvelende gass utvunnet ved kjemisk syrereaksjon. Laboratorieoppstilling under regel D.

Det neste jeg må vise dere, er at gassen faktisk løser seg en smule i vann, og derfor er ulik oksygen og hydrogen i denne henseende. Jeg har her et apparat som vi kan frembringe denne oppløsningen med. I den nedre delen av dette apparatet finnes marmor og syre, og i den øvre delen kaldt vann. Ventilinnretningene er ordnet slik at gassen kan stige fra den ene til den andre. Jeg setter apparatet i gang nå, og dere kan se gassen boble opp gjennom vannet, slik den har gjort i hele natt; og nå vil vi finne at vi har dette stoffet oppløst i vannet.

Dersom jeg tar et glass og tapper av litt av vannet, finner jeg at det smaker en smule syrlig i munnen: Det er mettet med karbondioksid; og dersom jeg nå tilsetter litt kalkvann til det, vil det gi oss en pålitelig prøve på stoffets tilstedeværelse. Dette vannet vil gjøre kalkvannet uklart og melkehvitt, noe som er et ugjendrivelig bevis på at karbondioksid er til stede.

Demonstrasjon F5-D27: Gassoppløsningsapparat med syre og marmor under trykk for kullsyreholdig vann

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here an apparatus by which we can produce this solution. In the lower part of this apparatus is marble and acid, and in the upper part cold water. The valves are so arranged that the gas can get from one to the other... If I take a glass and draw off some of the water, I find that it tastes a little acid to the mouth... and if I now apply a little lime-water to it, that will give us a test of its presence.»

Sikkerhet for barn: Kjemisk reaktor med syre under gasstrykk. Smaking på ukjente laboratorievæsker er strengt forbudt for barn.

> Merknad: **Etter 1861.** Karbondioksid har en merkbar løselighet i vann (ca. 1,45 g/L ved 25 °C og 1 atm). En liten brøkdel (under 0,2 %) av det oppløste CO_2 reagerer med vannmolekylene og danner ekte kullsyre: $CO_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq)$. Kullsyren protolyserer trinnvis og avgir hydrogenioner: $H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$, noe som gir den karakteristiske friske, syrlige smaken i kullsyreholdig mineralvann (sodavann). Apparatet Faraday demonstrerte, er en tidlig forløper for moderne sifonflasker og kullsyremaskiner.

Videre er det en overmåte tung gass — den er tyngre enn selve atmosfæren. Jeg har ført opp dens vekt nederst i denne tabellen, sammen med vektene av de andre gassene vi har undersøkt, til sammenligning:

En pint av den veier 16 1/3 grains, og en kubikkfot veier 1 9/10 ounce [ca. 54 gram, mot ca. 34 gram for luft] — nesten to ounces! Dere kan gjennom mange forsøk se at dette er en tung gass.

Anta at jeg tar et glass som ikke inneholder annet enn vanlig luft, og fra denne beholderen med karbondioksid forsøker å helle litt av denne gassen over i det andre glasset: Mon tro om noe av gassen har havnet oppi der eller ei? Jeg kan ikke avgjøre det ut fra synet, men jeg kan gjøre det på denne måten [fører et brennende tindelys ned i glasset]. Ja, der ser dere: Flammen slukker momentant! Og dersom jeg undersøkte det med kalkvann, ville jeg påvise den ved den prøven likeledes.

Jeg tar denne lille bøtten og senker den ned i brønnen med karbondioksid — vi har dessverre altfor ofte virkelige brønner og gruvesjakter med karbondioksid — og dersom det finnes karbondioksid der, må jeg ha nådd ned til det nå; og det vil befinne seg i denne bøtten, som vi skal undersøke med et lys. Der ser dere: Lyset slukker momentant idet det når bøtteranden; den er full av karbondioksid!

Demonstrasjon F5-D28: Overhelling av usynlig karbondioksidgass fra ett glass til et annet påvist med lysflamme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Suppose I take a glass containing nothing else but air, and from this vessel containing the carbonic acid I attempt to pour a little of this gas into that glass... but I can in this way [introducing the taper]. Yes, there it is, you see; and if I were to examine it by lime-water, I should find it by that test also.»

Sikkerhet for barn: Håndtering av kvelende gass og åpen ild i trange glasskar. Gassforsøk under regel D.

Demonstrasjon F5-D29: Nedsenking av miniatyrbøtte i brønn med karbondioksidgass og flammeprøve

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I will take this little bucket, and put it down into the well of carbonic acid—indeed, we too often have real wells of carbonic acid—and now, if there is any carbonic acid, I must have got to it by this time, and it will be in this bucket, which we will examine with a taper. There it is, you see; it is full of carbonic acid.»

Sikkerhet for barn: Demonstrasjon av gassoppsamling i reservoar med kvelende atmosfære; illustrerer akutt kvelningsfare i gruvesjakter. Kun fagdemonstrasjon under regel D.

Det finnes et annet forsøk som jeg vil vise dere dens vekt ved hjelp av. Jeg har her en glasskrukke opphengt i den ene enden av en vektarm — den står nå i fullkommen likevekt med motvekten på den andre siden. Men når jeg heller denne karbondioksidgassen over i krukken på den ene siden, som nå inneholder vanlig luft, vil dere se den synke ned straks, på grunn av vekten av gassen jeg fyller den med! Og hvis jeg nå undersøker denne krukken med det tente lyset, vil jeg oppdage at karbondioksidet har lagt seg i bunnen av den, og at rommet ikke lenger eier noen evne til å understøtte forbrenning.

Dersom jeg blåser en såpeboble, som selvsagt vil være fylt med luft, og lar den dale ned i et kar med karbondioksid, vil den flyte på overflaten.

Demonstrasjon F5-D30: Overhelling av tung karbondioksidgass i skål på balansevekt med etterfølgende flammeprøve

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here a jar suspended at one end of a balance—it is now equipoised; but when I pour this carbonic acid into the jar on the one side which now contains air, you will see it sink down at once, because of the carbonic acid that I pour into it. And now, if I examine this jar with the lighted taper, I shall find that the carbonic acid has fallen into it, and it no longer has any power of supporting the combustion.»

Sikkerhet for barn: Overhelling av usynlig kvelende gass på laboratorievekt og innføring av flamme. Laboratoriedemonstrasjon under regel D.

Men jeg skal aller først ta en av disse små ballongene fylt med luft. Jeg er ikke helt sikker på hvor høyt karbondioksidet står i karet; la oss lodde dybden og se hvor overflaten befinner seg. Der ser dere: Vi har denne ballongen flytende på det usynlige karbondioksidlaget; og dersom jeg utvikler litt mer karbondioksid i bunnen, vil ballongen løftes høyere opp. Der stiger den — glasset er nesten fullt; og nå skal jeg se om jeg kan blåse en såpeboble over dette, og la den flyte på nøyaktig samme vis.

[Foreleseren blåste her en såpeboble og lot den falle ned i glasskrukken med karbondioksid, hvor den ble svevende midtveis i karet.]

Den flyter, slik ballongen fløt, i kraft av at karbondioksidet er vesentlig tyngre enn luften inne i boblen.

Og nå, etter at jeg så langt har gitt dere karbondioksidets historie — hva angår dets opprinnelse i stearinlyset, dets fysiske egenskaper og dets vekt — skal jeg neste gang vi møtes vise dere hva det er sammensatt av, og hvor det henter sine grunnstoffer fra.

Demonstrasjon F5-D31: Luftfylt ballong flyter på et lag av tung karbondioksidgass i stort glasskar

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «But I shall first of all take one of these little balloons filled with air. I am not quite sure where the carbonic acid is; we will just try the depth, and see whereabouts is its level. There, you see, we have this bladder floating on the carbonic acid; and if I evolve some more of the carbonic acid, the bladder will be lifted up higher.»

Sikkerhet for barn: Oppdrift av ballong på usynlig gasspute generert fra syreoppløsning; gassforsøk under regel D.

Demonstrasjon F5-D32: Såpeboble blåst med luft svever midtveis på karbondioksidgass

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «and now I will see whether I can blow a soap-bubble on that, and float it in the same way. [The Lecturer here blew a soap-bubble, and allowed it to fall into the jar of carbonic acid, when it floated in it midway.] It is floating, as the balloon floated, by virtue of the greater weight of the carbonic acid than of the air.»

Sikkerhet for barn: Svevende boble i dypt glasskar fylt med kvelende karbondioksidgass. Demonstrasjonsforsøk under regel D.

Merknad: **Etter 1861.** Karbondioksid (CO_2) har en molvekt på 44,01 g/mol, mens tørr luft har en gjennomsnittlig molvekt på ca. 28,97 g/mol. Ved romtemperatur og standardtrykk er densiteten til CO_2 ca. 1,84 kg/m³, som er omtrent 1,53 ganger tettere enn luft (1,20 kg/m³). En luftfylt ballong eller såpeboble (hvor den totale gjennomsnittlige tettheten inklusive såpehinnen er lavere enn 1,84 kg/m³) opplever en oppdriftskraft i henhold til Arkimedes' lov som overstiger tyngdekraften, og vil derfor flyte stabilt på overflaten av den usynlige gassen som på en væske.

Forelesning VI: Karbon eller trekull — Kullgass — Respirasjon og dens likhet med et brennende stearinlys — Avslutning

En dame som beærer meg med sitt nærvær ved disse forelesningene, har lagt meg under ytterligere takknemlighetsgjeld ved å sende meg disse to lysene. De stammer fra Japan, og jeg formoder at de er laget av det samme stoffet som jeg henviste til i en tidligere forelesning. Dere ser at de er langt mer kunstferdig utsmykket enn de franske lysene; og ut fra utseendet må vi anta at dette er luksuslys. De har en høyst merkverdig særegenhet ved seg — nemlig en hul veke — den samme vakre innretningen som Argand innførte i lampen sin og gjorde så verdifull. Til dem som mottar slike gaver fra Orienten, kan jeg fortelle at dette og lignende materialer etter hvert gjennomgår en overflateforandring som gir dem et matt og livløst utseende; men den opprinnelige skjønnheten kan lett gjenvinnes dersom man gnir overflaten med en ren klut eller et silketørkle for å glatte ut de fine ujevnhetene; dette bringer fargenes glans fullt tilbake. Jeg har pusset det ene av disse lysene på denne måten, og dere ser tydelig forskjellen mellom dette og det andre som ikke er pusset, men som kan settes i stand ved nøyaktig samme fremgangsmåte. Legg også merke til at disse støpte lysene fra Japan er formet mer kjegleformede enn de støpte lysene som lages i vår del av verden.

Demonstrasjon F6-D01: Gjenopprette glansen på japanske vokslys ved pussing med klut

[Prøv hjemme]

Kildeanker: «I have so rubbed one of these candles, and you see the difference between it and the other which has not been polished, but which may be restored by the same process.»

Sikkerhet for barn: Helt trygg overflatebehandling av faste vokslys med myk tøyklut uten oppvarming eller flamme.

> Merknad: **Etter 1861.** Japanske lys ble tradisjonelt støpt av sumakvoks (Japan wax), utvunnet fra fruktene til treet *Rhus succedanea*. Kjemisk sett er dette ikke et sant hydrokarbon eller en voks, men et vegetabilsk fett bestående overveiende av glyseryltripalmitat (triglyserid av palmitinsyre). Den hule veken som Faraday beundret, ble oppfunnet av den sveitsiske fysikeren François-Pierre-Amédée Argand i 1780 for oljelamper («Argand-brenneren»); den tillater luft å strømme opp gjennom sentrum av flammen så vel som langs utsiden, noe som gir mer fullstendig forbrenning og betydelig lysere flamme.

Da vi møttes sist, fortalte jeg dere en god del om kullsyre. Ved prøven med kalkvann oppdaget vi at når dampen fra toppen av stearinlyset eller lampen ble samlet opp i flasker og prøvet med denne kalkvannoppløsningen (hvis sammensetning jeg forklarte for dere, og som dere selv kan tilberede), fikk vi dette hvite bunnfallet, som i sannhet var kalkstoff, lik muslingskall, koraller og mange av bergartene og mineralene i jordskorpen. Men jeg har ennå ikke forklart dere fullt og tydelig den kjemiske historien til dette stoffet — kullsyren — slik vi vinner det fra lyset, og jeg må nå ta opp igjen denne tråden. Vi har sett produktene og deres sanne natur etter hvert som de strømmer ut fra lyset. Vi har sporet vannet tilbake til dets grunnstoffer, og nå må vi finne ut hvor bestanddelene i kullsyren fra lyset stammer fra. Noen få forsøk vil vise dette.

Dere husker at når et lys brenner dårlig, soter det; men når det brenner godt, oppstår det ingen røyk. Og dere vet at lysets glans skyldes denne røyken når partiklene bringes til hvitglød. Her er et forsøk som beviser dette: Så lenge røyken holdes inne i selve lysflammen og gløder opp, gir den et vakkert lys og viser seg aldri for oss som svarte sotpartikler. Jeg skal nå tenne et brennstoff som er ytterst ødselt i sin forbrenning. Det vil tjene hensikten vår utmerket — litt terpentin på en svamp. Dere ser røyken stige opp fra den og drive ut i luften i store mengder; og husk nå at kullsyren vi vinner fra stearinlyset, stammer fra nettopp slik røyk som dette. For å gjøre dette helt innlysende for dere, akter jeg å føre denne brennende terpentinen på svampen ned i en kolbe hvor jeg rår over rikelig med oksygen, atmosfærens rikeste del; og dere ser nå at all røyken fortæres fullstendig. Dette er første trinn i undersøkelsen vår; og hva følger så?

Karbonet som dere så stige til værs fra terpentinflammen i den vanlige luften, er nå fullstendig forbrent i dette oksygenet; og vi vil finne at dette enkle, midlertidige forsøket leder oss til nøyaktig samme slutning og resultat som vi vant fra lysets forbrenning. Grunnen til at jeg utfører forsøket på denne måten, er ene og alene at jeg ønsker å gjøre resonnementets enkelte ledd så oversiktlige at dere aldri for et øyeblikk slipper tankerekken av syne, så sant dere følger oppmerksomt med. Alt karbon som forbrenner i oksygen eller i luft, trer fram som kullsyre, mens de partiklene som ikke forbrenner, viser dere det andre stoffet i

kullsyren — nemlig karbonet — dette stoffet som gjorde flammen så lysende da det var rikelig med luft til stede, men som ble kastet ut i overskudd da det ikke fantes tilstrekkelig oksygen til å fortære det.

Demonstrasjon F6-D02: Forbrenning av terpentin på svamp i vanlig luft med tykk sotsky

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I will light some fuel, which is extravagant in its burning. This will serve our purpose—a little turpentine on a sponge. You see the smoke rising from it, and floating into the air in large quantities»

Sikkerhet for barn: Åpen forbrenning av brennbar terpentinvæske på svamp skaper en uregjerlig flamme og helseskadelig soting. Kun laboratoriedemonstrasjon under regel D.

Demonstrasjon F6-D03: Brennende terpentin på svamp ført inn i kolbe med ren oksygengass

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I will introduce this turpentine burning on the sponge into a flask where I have plenty of oxygen, the rich part of the atmosphere, and you now see that the smoke is all consumed.»

Sikkerhet for barn: Forbrenning av brennbare løsemidler i konsentrert oksygenatmosfære medfører akutt fare for voldsom fakling og glassprengning. Strengt forbudt etter regel D.

Jeg må også vise dere litt tydeligere historien om karbon og oksygen i deres forening til kullsyre. Dere er nå bedre rustet til å forstå dette enn før, og jeg har gjort i stand tre eller fire forsøk til belysning av saken. Dette glasset er fylt med oksygen, og her er litt karbon som har vært lagt i en digel for å glødes rødglødende. Jeg holder glasset tørt og våger å by dere et resultat som i noen grad er ufullkomment, i den hensikt å gjøre forsøket klarere og mer lysende. Jeg akter å bringe oksygenet og karbonet sammen.

At dette er karbon (vanlig pulverisert trekull), vil dere se av måten det brenner på i luften [lar litt av det rødglødende trekullet falle ut av digelen]. Nå skal jeg brenne det i oksygengass, og se hvilken forskjell det utgjør! På avstand kan det kanskje se ut for dere som om det brenner med en flamme; men det er ikke tilfelle. Hver eneste lille trekullpartikkel brenner som en gnist, og mens den brenner slik, frembringer den kullsyre. Jeg ønsker særlig at disse to eller tre forsøkene skal understreke det jeg straks skal dvele nærmere ved — nemlig at karbon brenner på denne særskilte måten, og ikke som en gassflamme.

Demonstrasjon F6-D04: Rødglødende trekullpartikler drysset fra digel i vanlig luft

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «That this is carbon (common charcoal pulverised), you will see by the way in which it burns in the air [letting some of the red-hot charcoal fall out of the crucible].»

Sikkerhet for barn: Håndtering av glødende trekullpartikler og opphetet laboratoriedigel medfører alvorlig fare for brannsår og brann. Forbudt for barn etter regel D.

Demonstrasjon F6-D05: Glødende trekullpulver brent i glassklokke med ren oksygengass

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I am now about to burn it in oxygen gas, and look at the difference. It may appear to you at a distance as if it were burning with a flame; but it is not so. Every little piece of charcoal is burning as a spark, and whilst it so burns it is producing carbonic acid.»

Sikkerhet for barn: Forbrenning av faste glødende partikler i rent oksygen gir ekstrem varmeutvikling og termisk spenning i glasskar. Kun historisk demonstrasjon under regel D.

I stedet for å ta mange små karbonpartikler for å brenne dem, vil jeg ta et temmelig stort stykke; det vil sette dere i stand til å iaktta formen og størrelsen, og følge virkningene på en overbevisende måte. Her er glasset med oksygen, og her er trekullstykket, som jeg har festet en liten treflis til, slik at jeg kan sette fyr på den og dermed starte forbrenningen, noe jeg vanskelig kunne oppnådd uten. Dere ser nå at trekullet brenner, men ikke som en flamme (eller dersom det finnes en flamme, er det den aller

minste tenkelige, hvis årsak jeg kjenner til — nemlig dannelsen av en smule kullos like ved overflaten av karbonet).

Det fortsetter å brenne, ser dere, og danner langsomt kullsyre ved foreningen av dette karbonet eller trekullet (de to ordene betyr det samme her) med oksygenet. Her har jeg et annet stykke trekull, en bit bark, som har den egenskapen at den sprenges i stykker — den eksploderer idet den brenner. Under varmens virkning vil vi splitte denne karbonklumpen opp i partikler som slynges ut til alle kanter; likevel brenner hver enkelt partikkel, i likhet med hele massen, på denne særegne måten: Den brenner som en glødende kullbit, og ikke som en flamme. Dere ser et mylder av ørsmå forbrenninger finne sted, men ingen gassflamme. Jeg vet ikke om noe vakrere forsøk enn dette til å vise at karbon brenner med en glødende gnist.

Demonstrasjon F6-D06: Fast trekullstykke med brennende treflis senket i ren oksygengass

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is the jar of oxygen, and here is the piece of charcoal, to which I have fastened a little piece of wood, which I can set fire to, and so commence the combustion... You now see the charcoal burning, but not as a flame»

Sikkerhet for barn: Hvitglødende kullbrenning i ren oksygenatmosfære; forbudt for barn under regel D.

Demonstrasjon F6-D07: Trekull av bark brent i ren oksygengass under gnistsprut og spraking

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here another piece of charcoal, a piece of bark, which has the quality of being blown to pieces—exploding as it burns. By the effect of the heat, we shall reduce the lump of carbon into particles that will fly off»

Sikkerhet for barn: Eksplosiv avskalling og prosjektillignende gnistkasting i lukket glassklokke med ren oksygengass. Kun historisk observasjon under regel D.

Her er altså kullsyren dannet direkte fra sine grunnstoffer. Den oppstår i samme stund; og dersom vi undersøker den med kalkvann, vil dere se at vi har nøyaktig det samme stoffet som jeg tidligere har beskrevet for dere. Ved å føre sammen 6 vektdeler karbon (enten det stammer fra flammen til et stearinlys eller fra pulverisert trekull) og 16 vektdeler oksygen, oppnår vi 22 vektdeler kullsyre; og slik vi så forrige gang, vil 22 deler kullsyre forent med 28 deler brent kalk gi vanlig kalsiumkarbonat. Dersom dere skulle undersøke et østersskall og veie de enkelte delene, ville dere oppdage at hver 50 vektdeler inneholder 6 deler karbon og 16 deler oksygen, bundet til 28 deler kalk. Likevel ønsker jeg ikke å bry dere med disse detaljene — det er sakens overordnede naturfilosofi vi nå skal fordype oss i.

Se hvor vakkert karbonet oppløser seg og svinner hen [peker på trekullklumpen som brenner rolig i glasset med oksygen]. Dere kan gjerne si at trekullet formelig løser seg opp i den omliggende luften; og dersom dette var fullkomment rent trekull, noe vi lett kan fremstille, ville det overhodet ikke bli liggende igjen noen rest. Når vi rår over et fullstendig renset og foredlet stykke karbon, etterlates ingen aske. Karbonet brenner som et fast, tett legeme som varmen alene ikke formår å rokke ved hva fasthet angår; og likevel forsvinner det over i en usynlig damp som aldri fortætter seg til fast eller flytende stoff under vanlige forhold; og hva som er enda mer forunderlig, er det faktum at oksygenet ikke endrer sitt romfang ved at karbonet løses opp i det. Nøyaktig slik volumet var ved begynnelsen, forblir det helt til slutt, bortsett fra at gassen nå er blitt til kullsyre.

Demonstrasjon F6-D08: Påvisning av karbondioksid dannet ved trekullforbrenning i oksygen med kalkvann

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here, then, is carbonic acid formed from its elements. It is produced at once; and if we examined it by lime-water, you will see that we have the same substance which I have previously described to you.»

Sikkerhet for barn: Håndtering av varm forbrenningsgass fra oksygenkar og testing med kjemisk reagens. Forbeholdt laboratoriefremvisning under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Faradays tallforhold (6 deler karbon + 16 deler oksygen = 22 deler kullsyre; 22 deler kullsyre + 28 deler kalk = 50 deler kalkstein) bygger på datidens ekvivalentvekter ($C = 6$, $O = 8$, $Ca = 20$). Etter Karlsruhe-kongressen i 1860 og Cannizzaros reform ble atomvektene standardisert til moderne verdier: $C = 12{,}011$, $O = 15{,}999$ og $Ca = 40{,}078$. Karbondioksid har formelen CO_2 med molmasse 44,01 g/mol (12 deler karbon til 32 deler oksygen, nøyaktig samme masseforhold 3:8 som Faraday angir). Kalsiumkarbonat er $CaCO_3$ med molmasse 100,09 g/mol ($40 + 12 + 48$), som tilsvarer Faradays 50 deler doblet. At gassvolumet er uendret når karbon brenner i ren oksygengass ($C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$), er en direkte konsekvens av Avogadros lov: Ett mol O_2-gass danner nøyaktig ett mol CO_2-gass ved samme trykk og temperatur.

Det finnes et annet forsøk jeg må vise dere før dere er fullt fortrolige med kullsyrens allmenne natur. Ettersom kullsyre er et sammensatt stoff som består av karbon og oksygen, burde vi være i stand til å rive det i stykker. Og det makter vi i sannhet. Nøyaktig som vi gjorde med vannet, kan vi gjøre med kullsyren — skille de to bestanddelene fra hverandre. Den enkleste og raskeste fremgangsmåten er å la et stoff som har kraft til å tiltrekke seg oksygenet fra kullsyren, virke på den, slik at karbonet blir stående igjen alene.

Dere husker at jeg tok kalium og la det på vann eller is, og dere så at det formådde å rive oksygenet bort fra hydrogenet. Anta nå at vi gjør noe tilsvarende her med denne kullsyren. Dere vet at kullsyre er en tung gass. Jeg skal ikke prøve den med kalkvann, da det ville forstyrre de påfølgende forsøkene våre; men jeg antar at gassens tyngde og dens evne til å slukke ild vil være tilstrekkelig for vårt formål. Jeg fører en flamme inn i gassen, og dere vil se om den slukkes. Dere ser at lyset kveles i samme stund. Ja, gassen formår kanskje endog å slukke fosfor, som dere vet brenner med en overmåte voldsom kraft. Her er et stykke fosfor opphetet til en høy temperatur. Jeg fører det inn i gassen, og dere bevitner at lyset slukkes; men det fatter ild på ny så snart det trekkes ut i luften, fordi det der gjenopptar sin forbrenning.

La meg nå ta et stykke kalium, et stoff som selv ved vanlige temperaturer kan virke på kullsyre, skjønt ikke tilstrekkelig for formålet vårt her, ettersom det raskt overtrekkes med en beskyttende hinne; men dersom vi varmer det opp til antennelsestemperaturen i luft, slik vi har full rett til å gjøre og slik vi gjorde med fosforet, vil dere se at det formår å brenne i kullsyre; og dersom det brenner, vil det gjøre det ved å tilrive seg oksygenet, slik at dere ser hva som blir liggende igjen. Jeg akter derfor å brenne dette kaliumet i kullsyregassen som et bevis på at det finnes oksygen i kullsyren. [Under forberedelsen med oppvarmingen eksploderte kaliumstykket.] Av og til råker vi ut for et uregjerlig stykke kalium som eksploderer, eller noe lignende, når det skal brennes.

Jeg tar et annet stykke; og nå som det er gjennomvarmet, fører jeg det ned i glasset, og dere ser at det brenner i kullsyren — ikke fullt så livlig som i luft, ettersom kullsyren holder oksygenet kjemisk bundet; men det brenner unektelig, og river til seg oksygenet. Dersom jeg nå legger dette reaksjonsproduktet ned i vann, oppdager jeg at det foruten kaliluten som dannes (som dere ikke behøver å bry dere med), er frembrakt en anselig mengde karbon. Jeg har utført forsøket her på en nokså røff måte; men jeg forsikrer dere om at dersom jeg utførte det omhyggelig og viet en hel dag til det i stedet for fem minutter, ville vi få hele den tilmålte mengden trekull liggende igjen i skjeen der kaliumet ble brent, slik at det ikke kunne herske minste tvil om utfallet.

Her har vi altså karbonet utvunnet fra kullsyren, som et velkjent svart stoff; og dermed rår dere over det fulle bevis for at kullsyren består av karbon og oksygen. Og nå kan jeg fortelle dere at *hver gang* karbon brenner under vanlige omstendigheter, danner det kullsyre.

Demonstrasjon F6-D09: Innføring av tent flamme i tung karbondioksidgass med momentan slukking

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I introduce a flame into the gas, and you will see whether it will be put out. You see the light is extinguished.»

Sikkerhet for barn: Innføring av åpen ild i kvelende gass i kjemisk laboratorieglass. Kun demonstrasjon under regel D.

Demonstrasjon F6-D10: Opphetet hvit fosfor slukkes i karbondioksidgass og antennes på nytt i luft

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is a piece of phosphorus heated to a high degree. I introduce it into gas, and you observe the light is put out; but it will take fire again in the air, because there it re-enters into combustion.»

Sikkerhet for barn: Hvit fosfor er akutt giftig, etsende og selvantennelig med livsfare. Strengt forbudt etter regel D.

Demonstrasjon F6-D11: Oppvarming av metallisk kalium i luft under voldsom oppflamming og smell

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Now, let me take a piece of potassium... [In the preliminary process of heating, the potassium exploded.] Sometimes we get an awkward piece of potassium that explodes, or something like it, when it burns.»

Sikkerhet for barn: Kalium er et ekstremt reaktivt alkalimetall med eksplosjonsfare ved oppvarming. Forbudt for barn under regel D.

Demonstrasjon F6-D12: Oppvarmet metallisk kalium brenner i karbondioksidgass og danner karbon

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I will take another piece; and now that it is heated, I introduce it into the jar, and you perceive that it burns in the carbonic acid—not so well as in the air, because the carbonic acid contains the oxygen combined; but it does burn, and takes away the oxygen.»

Sikkerhet for barn: Alkalimetall i reaksjon med karbondioksid gir voldsom varme og kjemisk reduksjon med sprutfare. Forbudt etter regel D.

Demonstrasjon F6-D13: Reaksjonsrester av kalium og karbon legges i vann under dannelse av kalilut og fritt sot

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If I now put this potassium into water, I find that, besides the potash formed (which you need not trouble about), there is a quantity of carbon produced.»

Sikkerhet for barn: Kaliumrester i kontakt med vann reagerer eksplosivt med hydrogengassutvikling, flammer og dannelse av sterkt etsende kalilut (KOH). Forbudt under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Metallisk kalium (K) har et svært lavt standard reduksjonspotensial ($E^\circ = -2{,}93$ V), noe som gjør det til et overmåte kraftig reduksjonsmiddel. Når kalium brenner i karbondioksidgass, reduserer det karbonet (C^{IV}) til elementært amorft karbon (C^0) under dannelse av kaliumkarbonat: $4K + 3CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + C$. Ved svært høye temperaturer dannes også kaliumoksid ($4K + CO_2 \rightarrow 2K_2O + C$), som reagerer voldsomt med vann og gir kalilut: $K_2O + H_2O \rightarrow 2KOH$. Eksplosjonen Faraday opplevde under forvarmingen, skyldes ofte dannelse av ustabile peroksider eller superoksider (KO_2) på overflaten av kaliumstykket når det utsettes for fuktig luft.

Sett nå at jeg tar denne treflisen og legger den i en flaske med kalkvann. Jeg kunne rystet dette kalkvannet sammen med treflisen og atmosfæren så lenge jeg lyster; væsken ville likevel forbli krystallklar slik dere ser den; men sett at jeg brenner treflisen i luften inne i den flasken. Dere vet selvsagt at jeg får dannet vann. Får jeg også kullsyre? [Forsøket ble utført.] Der har vi det, ser dere — det vil si kalsiumkarbonatet som oppstår av kullsyren; og denne kullsyren må nødvendigvis være dannet av karbonet som stammer fra treverket, fra stearinlyset eller fra et hvilket som helst annet brennstoff.

Dere har i sannhet selv ofte prøvd et overmåte vakkert lite forsøk der dere kan se karbonet i treverk. Dersom dere tar en treflis, brenner den delvis og så blåser den ut, sitter dere igjen med trekull. Det finnes stoffer som ikke røper karbonet på denne måten. Et stearinlys viser det ikke direkte, men det inneholder vitterlig karbon. Her er likeledes en glassylinder med kullgass, som utvikler kullsyre i rikelige mengder. Dere ser ikke karbonet med det blotte øye, men vi skal snart påvise det for dere. Jeg skal tenne gassen, og så lenge det finnes gass igjen i denne sylinderen, vil den fortsette å brenne. Dere ser intet fritt karbon, men dere ser en

lysende flamme; og ettersom den er så klar og skinnende, vil dere gjette på at det finnes karbon i flammen.

Men jeg skal vise det for dere ved en annen fremgangsmåte. I et annet kar har jeg litt av den samme gassen, blandet med et stoff som vil brenne hydrogenet i gassen, men som ikke vil brenne karbonet. Jeg antenner dem med et brennende tindelys, og dere ser at hydrogenet fortæres, men ikke karbonet, som blir stående igjen som en tett, svart røyksky. Jeg håper at dere gjennom disse tre eller fire forsøkene vil lære å gjenkjenne når karbon er til stede, og forstå hva forbrenningsprodukten er når gass eller andre stoffer brenner fullstendig i luften.

Demonstrasjon F6-D14: Risting av treflis i en flaske med filtrert kalkvann forblir klart

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Suppose I take this piece of wood, and put it into a bottle with lime-water. I might shake that lime-water up with wood and the atmosphere as long as I pleased, it would still remain clear as you see it;»

Sikkerhet for barn: Håndtering av glassflaske med ferdig filtrert kalkvann; voksne hjelper med glass og væske.

Demonstrasjon F6-D15: Forbrenning av treflis i glassflaske etterfulgt av risting med kalkvann

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «suppose I burn the piece of wood in the air of that bottle. You, of course, know I get water. Do I get carbonic acid? [The experiment was performed.] There it is, you see—that is to say, the carbonate lime»

Sikkerhet for barn: Åpen flamme fra treflis føres inn i glasskolbe; krever at en voksen tenner ilden, holder glasset og har vann for hånden.

Demonstrasjon F6-D16: Delvis brenning og kveling av en treflis for å påvise trekull

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «If you take a piece of wood, and partly burn it, and then blow it out, you have carbon left.»

Sikkerhet for barn: Bruk av fyrstikk eller treflis med åpen flamme; krever en voksen i umiddelbar nærhet og ildfast underlag.

Demonstrasjon F6-D17: Sylinder med brennbar kullgass antennes og brenner med lysende flamme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here also is a jar of coal-gas, which produces carbonic acid abundantly. You do not see the carbon, but we can soon shew it to you. I will light it, and as long as there is any gas in this cylinder it will go on burning.»

Sikkerhet for barn: Antenning av brannfarlig hydrokarbongass i glassbeholder; eksplosjonsfare under regel D.

Demonstrasjon F6-D18: Blanding av kullgass og klorgass antennes til en tett sky av svart sot

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have some of the same gas in another vessel, mixed with a body that will burn the hydrogen of the gas, but will not burn the carbon. I will light them with a burning taper, and you perceive the hydrogen is consumed, but not the carbon, which is left behind as a dense black smoke.»

Sikkerhet for barn: Blanding av kullgass og giftig klorgass danner akutt etsende saltsyredamp (HCl) og sot. Forbudt etter regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Faradays uidentifiserte hjelpegass som brente hydrogenet, men sparte karbonet, var klorgass (Cl_2). Kullgass besto hovedsakelig av metan (CH_4), hydrogen (H_2) og karbonmonoksid (CO). Klor reagerer spontant og fotokjemisk med hydrokarboner ved antennelse; kloratomenes affinitet til hydrogen er så voldsom at hydrogenet oksideres momentant til hydrogenklorid (saltsyregass): $CH_4 + 2Cl_2 \rightarrow C + 4HCl$. Karbonatomene frigjøres som finfordelt, ugjennomtrengelig svart sot. Reaksjonen utvikler kvelende, etsende gass og må kun omtales historisk.

Før vi forlater emnet karbon, la oss gjøre et par forsøk og knytte noen bemerkninger til dets vidunderlige oppførsel når det gjelder vanlig forbrenning. Jeg har vist dere at når karbon brenner, brenner det utelukkende som et fast stoff; og likevel ser dere at når det er ferdig brent, opphører det å være fast. Det finnes ytterst få brennstoffer som oppfører seg slik. Det er i sannhet bare denne mektige kilden til brensel, den karbonholdige rekken — steinkull, trekull og ved — som formår å gjøre dette. Jeg vet ikke om noe annet grunnstoff enn karbon som brenner under slike betingelser; og dersom det ikke hadde vært innrettet slik, hva ville da ha hendt med oss?

Tenk om alt brensel hadde oppført seg som jern, som når det brenner, fortæres til et fast, tungt stoff! Da kunne vi aldri ha hatt en slik forbrenning som dere ser i denne peisen. Her er et annet slags brennstoff som brenner overmåte godt — like godt som, om ikke bedre enn karbon — ja, så godt at det fatter ild av seg selv så snart det kommer i berøring med luften, slik dere ser [knuser et glassrør fylt med blypyrofor]. Dette stoffet er metallisk bly, og dere ser hvor vidunderlig brennbart det er. Det er uhyre finfordelt, lik en haug med kullbiter i peisen; luften slipper til overalt på overflaten og i dypet, og derfor brenner det.

Men hvorfor brenner det ikke på denne måten nå når det ligger samlet i en tett klump? [tømmer innholdet av røret ut i en haug på en jernplate]. Ganske enkelt fordi luften ikke slipper til. Selv om det kan utvikle en enorm hete, den veldige varmen vi behøver i smelteovnene våre og under dampkjelene, formår varmen som utvikles, ikke å unnslippe fra den delen som blir liggende uforbrent under, og den delen hindres følgelig i å komme i kontakt med atmosfæren og kan ikke fortæres. Hvor himmelvidt annerledes forholder det seg ikke med karbon! Karbon brenner på nøyaktig samme vis som dette blyet, og gir en intens hete i smelteovnen eller hvor dere enn velger å brenne det; men stoffet som dannes ved forbrenningen, stiger bort som en gass, og det gjenværende karbonet blir liggende rent tilbake.

Jeg viste dere hvordan karbonet formelig løste seg opp i oksygenet uten å etterlate aske; mens vi her [peker på haugen med blypyrofor] i realiteten sitter igjen med mer aske enn vi hadde brennstoff, for det er blitt tyngre med nøyaktig vekten av det oksygenet som har forent seg med det. Slik ser dere forskjellen mellom karbon og bly eller jern. Tenk om forbrenningsproduktet forsvant som et fast legeme når karbonet brant! Da ville rommet blitt fylt av et ugjennomtrengelig, fast stoff, slik vi så med fosforet; men når karbon brenner, stiger alt umerkelig opp i atmosfæren. Før forbrenningen befinner det seg i en fast, nesten uforanderlig tilstand; men etterpå har det form av en gass, som det er overordentlig vanskelig (skjønt vi har lyktes) å bringe over i flytende eller fast form.

Demonstrasjon F6-D19: Forseglet glassrør med pyrofort bly knuses og selvantennes i luften

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «so well, indeed, as to take fire of itself when it is in the air, as you see [breaking a tube full of lead pyrophorus]. This substance is lead, and you see how wonderfully combustible it is.»

Sikkerhet for barn: Selvantennelig, finfordelt tungmetall med akutt fare for giftig blyoksidrøyk og skarpe glasskår. Forbudt under regel D.

Demonstrasjon F6-D20: Pyrofort bly tømmes i en haug på en jernplate der det indre kveles

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «[emptying the contents of the tube in a heap on to a plate of iron]. Simply because the air cannot get to it.»

Sikkerhet for barn: Håndtering av glødende, giftig metallpulver på metallplate. Forbeholdt historisk laboratoriedemonstrasjon under regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Pyrofort bly ble fremstilt ved forsiktig termisk spaltning av blytartrat i et lufttomt, gass-smeltet glassrør. Prosessen etterlater submikroskopiske blypartikler spredt i en kullmatrise. På grunn av partiklenes kolossale overflateareal overvinner overflateatomene den lave aktiveringsenergien for oksidasjon ($2Pb + O_2 \rightarrow 2PbO$) momentant ved romtemperatur, slik at partiklene gløder opp spontant. Karbondioksidgass (CO_2) ble først gjort flytende av Faraday selv i 1823 under høyt trykk, og fryst til fast form («tørris») av den franske kjemikeren Adrien-Jean-Pierre Thilorier i 1835. Ved 1 atm sublimerer tørris direkte til gass ved -78,5 °C.

Nå må jeg ta dere med til en overmåte fascinerende del av emnet vårt — til slektskapet mellom et brennende stearinlys og den levende forbrenningen som uopphørlig finner sted i vårt eget indre. I hver eneste en av oss pågår det en levende forbrenningsprosess som er forbløffende lik den som skjer i et stearinlys; og jeg skal bestrebe meg på å gjøre dette klart for dere. For det er ikke bare sant i en poetisk betydning — dette bildet av menneskelivet som et blafrende lys; og dersom dere vil følge meg, tror jeg at jeg kan legge det åpent fram for dere. For å gjøre denne sammenhengen helt åpenbar, har jeg konstruert et lite apparat som vi raskt kan sette sammen foran dere.

Her er et trebrett med en utskåret renne i, og jeg kan lukke rennen oventil med et lite deksel. Jeg kan deretter forlenge rennen som en sammenhengende kanal ved hjelp av et glassrør i hver ende, slik at det er fri passasje gjennom det hele. Anta nå at jeg tar et lite tindelys eller stearinlys (vi kan tillate oss å være romslige i bruken av ordet «lys», nå som vi forstår dets sanne natur), og plasserer det i et av rørene; det vil fortsette å brenne utmerket, som dere ser. Dere legger merke til at luften som nærer flammen, strømmer ned gjennom røret i den ene enden, beveger seg langs den horisontale kanalen, og stiger opp i det andre røret der lyset står.

Demonstrasjon F6-D21: Stearinlys tent i U-rør-apparat med sammenhengende luftkanal i trebrett

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Here is a board and a groove cut in it, and I can close the groove at the top part by a little cover. I can then continue the groove as a channel by a glass tube at each end... Suppose I take a taper or candle... and place it in one of the tubes; it will go on, you see, burning very well.»

Sikkerhet for barn: Levende lys montert i glassrør med naturlig luftoppdrift; krever oppsyn av en voksen ved tenning og håndtering av varme rør.

Dersom jeg tetter igjen åpningen der luften strømmer inn, stanser jeg forbrenningen, som dere bevitner. Jeg avskjærer lufttilførselen, og følgelig slukker lyset. Men hva vil dere nå si om denne kjensgjerningen? I et tidligere forsøk viste jeg dere luften som steg opp fra et brennende lys og vandret over til et annet lys. Dersom jeg tok luften som kom fra et annet lys og ledet den ned gjennom dette røret ved en sinnrik innretning, ville jeg kvele det brennende lyset. Men hva vil dere si når jeg forteller dere at min egen pust vil slukke dette lyset? Jeg mener ikke ved å blåse på det, men ganske enkelt at pustens sanne vesen er slik at et lys umulig kan brenne i den.

Jeg skal nå holde munnen over åpningen, og uten å blåse på flammen på noe vis, la ingen annen luft slippe ned i røret enn den som kommer fra mine egne lunger. Dere ser resultatet! Jeg blåste ikke lyset ut. Jeg lot bare luften jeg åndet ut, gli inn i åpningen, og følgen var at lyset sluknet av mangel på oksygen, og av ingen annen årsak. Et eller annet — nemlig lungene mine — hadde berøvet luften dens oksygen, og det fantes ikke lenger noe til å opprettholde lysets forbrenning. Det er fascinerende å iaktta hvor lang tid det tar før den fordervede luften jeg puster inn i denne delen av apparatet, når fram til lyset. Først brenner lyset uanfektet videre, men så snart luften har fått tid til å nå fram, kveles flammen.

Og nå vil jeg vise dere et annet forsøk, for dette utgjør en vesentlig del av vår naturfilosofi. Her er et glasskar som inneholder frisk luft, slik dere kan forvisse dere om ved at et stearinlys eller en gassflamme brenner i det. Jeg lukker det for en kort stund, og ved hjelp av et rør fører jeg munnen inntil slik at jeg kan puste inn luften. Ved å plassere karet over vann på den måten dere ser, makter jeg å trekke denne luften opp i lungene mine (forutsatt at korken slutter helt tett), og puste den tilbake i glasset.

Demonstrasjon F6-D22: Innsnevring av luftåpningen i U-rør-apparatet kveler lysflammen

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «If I stop the aperture through which the air enters, I stop combustion, as you perceive. I stop the supply of air, and consequently the candle goes out.»

Sikkerhet for barn: Tildekking av luftåpning på apparat med brennende lys; voksne overvåker for å hindre brannsår på varme glassdeler.

Demonstrasjon F6-D23: Utåndingsluft pustes forsiktig inn i U-rør-åpningen og slukker lysflammen

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «I will now hold my mouth over the aperture, and without blowing the flame in any way, let no air enter the tube but what comes from my mouth. You see the result. I did not blow the candle out. I merely let the air which I expired pass into the aperture, and the result was that the light went out for want of oxygen»

Sikkerhet for barn: Rolig utpusting i glassapparat med brennende lys i motsatt ende; krever oppsyn av en voksen for å holde trygg avstand fra flammen.

Demonstrasjon F6-D24: Inn- og utånding i luftklokke over vann etterfulgt av slukking av tindelys

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Here is a jar which contains fresh air... By putting it over water, in the way that you see, I am able to draw up this air (supposing the cork to be quite tight), take it into my lungs, and throw it back into the jar... and now, by putting a taper into the air, you will see the state in which it is, by the light being extinguished.»

Sikkerhet for barn: Pusting gjennom rør i glasskar over vannkar etterfulgt av flammeslukking; voksne må sørge for rent utstyr og passe ilden.

Vi kan deretter undersøke gassen og se resultatet. Dere legger merke til at jeg først trekker opp luften og deretter støter den tilbake, slik det fremgår av vannets stigning og fall; og når jeg nå fører et tindelys inn i luften, vil dere oppdage i hvilken forfatning den befinner seg, ved at flammen øyeblikkelig slukkes. Selv et eneste åndedrag har fullstendig fordervet denne luften, slik at det er aldeles nytteløst for meg å prøve å puste i den en gang til. Nå forstår dere årsaken til det skadelige og klanderverdige ved mange boforhold blant fattigfolk, der luften pustes inn om og om igjen på grunn av mangel på tilstrekkelig ventilasjon til å sikre et sunt inneklima. Dere ser hvor fordervet luften blir av et eneste åndedrag; og slik kan dere lett begripe hvor livsviktig frisk luft er for oss alle.

For å forfølge dette enda litt lenger, la oss se hva som hender med kalkvann. Her er en glasskolbe som inneholder en smule kalkvann, og den er utstyrt med rør på en slik måte at det gir adgang til luften der inne, slik at vi kan påvise virkningen av innåndet eller uinnåndet luft på væsken. Jeg kan selvsagt enten trekke luft inn (gjennom rør A), og dermed la luften som nærer lungene mine, passere gjennom kalkvannet; eller jeg kan presse luften ut av lungene mine gjennom røret (B), som går helt til bunns, og dermed vise dens virkning på kalkvannet.

Dere vil legge merke til at uansett hvor lenge jeg trekker den ytre luften inn gjennom kalkvannet og videre ned i lungene mine, frembringer jeg ingen forandring i væsken — den gjør ikke kalkvannet grumset; men dersom jeg blåser luften *fra* lungene mine gjennom kalkvannet flere ganger i trekk, ser dere hvor hvitt og melkeaktig vannet blir, noe som vitner om den virkningen utåndingsluften har hatt på det. Og nå begynner dere å innse at atmosfæren som vi har fordervet ved respirasjon, er fordervet av kullsyre, for dere ser det her i møtet med kalkvannet.

Demonstrasjon F6-D25: Utpusting av lungegass gjennom rør i filtrert kalkvann danner hvitt bunnfall

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «Here is a globe which contains a little lime-water... draw in air (through A)... force the air out of my lungs through the tube (B)... throw the air from my lungs through the lime-water, several times in succession, you see how white and milky the water is getting»

Sikkerhet for barn: Blåsing gjennom sugerør ned i svakt basisk kalkvann; voksne må påse at barnet kun blåser ut og aldri suger inn eller svelger væsken.

Jeg har her to flasker, den ene med kalkvann og den andre med vanlig vann, og rør som leder ned i flaskene og forbinder dem. Apparatet er nokså enkelt bygget, men det er overmåte nyttig likevel.

Dersom jeg tar disse to flaskene, og puster inn gjennom den ene og puster ut gjennom den andre, vil rørenes innretning hindre luften i å gå baklengs. Luften som strømmer inn, vil gå til munnen og lungene mine, og når den forlater lungene, vil den boble gjennom kalkvannet; slik kan jeg fortsette å puste og gjennomføre et forsøk som er overordentlig raffinert i sin natur og gir et vakkert resultat. Dere ser at den friske luften ikke har gjort noen skade på kalkvannet; i den andre flasken har intet annet nådd kalkvannet enn min egen utånding, og dere ser den slående forskjellen i de to tilfellene.

Demonstrasjon F6-D26: To-flaskers pusteapparat med vann og kalkvann for sammenligning av inn- og utånding

[Bare sammen med en voksen]

Kildeanker: «I have here two bottles, one containing lime-water and the other common water, and tubes which pass into the bottles and connect them... If I take these two bottles, inhaling here and exhaling there, the arrangement of the tubes will prevent the air going backwards.»

Sikkerhet for barn: Sammenkoblet glassapparat med væskelåser for åndedrettsprøving; krever hjelp av en voksen til montering og trygg pusting uten væskeinntak.

La oss nå gå et skritt videre. Hva er hele denne prosessen som pågår uopphørlig i vårt indre, og som vi verken kan unnvære dag eller natt — en prosess som Skaperen har innrettet på en slik måte at den er uavhengig av vår egen vilje? Dersom vi holder pusten, slik vi til en viss grad makter, ville vi ødelegge oss selv. Når vi sover, fortsetter åndedrettsorganene og delene som hører til dem, ufortrødent sitt virke — så uunnværlig er denne respirasjonen for oss, denne berøringen mellom luften og lungene.

Jeg må i korteste vendinger fortelle dere hva denne prosessen består i. Vi inntar føde: Føden passerer gjennom dette forunderlige systemet av kanaler og organer i kroppen, og føres ut i ulike deler av organismen, særlig til fordøyelsesorganene; og etter hvert fraktes den omdannede næringen gjennom lungene våre ved hjelp av ett sett blodkar, mens luften som vi puster inn og ut, trekkes inn i og støtes ut av lungene ved et annet sett kanaler; dermed kommer luften og føden i den aller tetteste berøring med hverandre, kun adskilt av en overmåte tynn hinne. Luften formår dermed å virke på blodet gjennom denne prosessen, og frembringer nøyaktig samme slags resultater som vi har sett i tilfellet med stearinlyset.

Lyset forener seg med bestanddeler i luften, danner kullsyre og utvikler varme; og på samme vis foregår denne underfulle forandringen i lungene. Luften som trenger inn, forener seg med karbonet (ikke fritt karbon, men som i dette tilfellet stilt beredt til handling i samme øyeblikk), danner kullsyre, og støtes slik ut i atmosfæren; og dermed opptrer dette merkelige resultatet: Vi kan i sannhet betrakte maten som vårt brennstoff. La meg ta denne sukkerbiten, som vil tjene hensikten min utmerket. Sukker er en kjemisk forbindelse av karbon, hydrogen og oksygen, på lignende vis som stearinlyset, ved at det inneholder de samme grunnstoffene, om enn ikke i nøyaktig samme forholdstall — forholdstallene er som vist i denne tabellen:

SUKKER.

Dette er i sannhet et overmåte merkverdig forhold, som dere lett kan merke dere, for oksygenet og hydrogenet forekommer i nøyaktig de samme proporsjonene som danner vann; sukker kan derfor sies å være sammensatt av 72 deler karbon og 99 deler vann. Og det er karbonet i sukkeret som forener seg med oksygenet som fraktes inn med luften under åndedrettet — og gjør oss dermed like stearinlys — idet det frembringer disse virkningene, varmen og langt mer vidunderlige resultater i tillegg, til organismens opprettholdelse gjennom en uovertruffent vakker og enkel prosess.

For å gjøre dette enda mer slående, vil jeg ta en smule sukker; eller for å fremskynde forsøket, vil jeg benytte litt sirup, som inneholder omtrent tre fjerdedeler sukker og litt vann. Dersom jeg tilsetter litt vitriololje til den, river den bort vannet og etterlater karbonet som en svart masse. [Foreleseren blandet de to stoffene sammen.] Dere ser hvordan karbonet veller fram, og før det har gått lang tid, sitter vi igjen med en fast klump av trekull, hvorav alt sammen stammer fra sukkeret. Sukker er, som dere vet, mat; og her har vi i sannhet en fast klump av karbon på et sted der dere minst ville ha ventet det.

Og dersom jeg treffer tiltak for å oksidere sukkerets karbon, vil vi oppnå et enda mer slående resultat. Her er sukker, og her har jeg et oksidasjonsmiddel — et som virker langt raskere enn atmosfæren; og dermed skal vi oksidere dette brennstoffet ved en prosess som er annerledes enn respirasjonen i sin ytre form, skjønt ikke annerledes i sitt indre vesen. Det er karbonets forbrenning gjennom berøring med oksygenet som stoffet tilføres. Dersom jeg setter denne reaksjonen i gang straks, vil dere se forbrenning oppstå. Nøyaktig det som foregår i mine egne lunger — der oksygen opptas fra en annen kilde, nemlig atmosfæren — utspiller seg her ved en langt heftigere og hurtigere prosess.

Demonstrasjon F6-D27: Konsentrert svovelsyre på sukkersirup danner en voksende søyle av svart trekull

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «If I put a little oil of vitriol on it, it takes away the water, and leaves the carbon in a black mass. [The Lecturer mixed the two together.] You see how the carbon is coming out, and before long we shall have a solid mass of charcoal, all of which has come out of sugar.»

Sikkerhet for barn: Konsentrert svovelsyre er ekstremt etsende og reagerer voldsomt med sukker under kraftig varmeutvikling, sprut og sur vanndamp. Strengt forbudt etter regel D.

Demonstrasjon F6-D28: Sukker blandet med sterkt fast oksidasjonsmiddel antennes til en blendende flamme

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «Here is sugar, and I have here an oxidizer—a quicker one than the atmosphere; and so we shall oxidize this fuel by a process different from respiration in its form, though not different in its kind... If I set this into action at once, you will see combustion produced.»

Sikkerhet for barn: Blanding av sukker og sterke oksidasjonsmidler (kaliumklorat) danner en pyroteknisk eksplosjonsblanding som brenner med voldsom hete og flammestikk. Forbudt etter regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Faradays oppgitte tall for rørsukker (sukrose, $C_{12}H_{22}O_{11}$) var 72 vektdeler karbon til 99 vektdeler vann (11×9, idet vann dengang ble regnet med ekvivalentvekt $H=1, O=8$, dvs. $HO = 9$). Med moderne atomvekter ($C=12, H=1, O=16$) er molmassen til sukrose 342,3 g/mol ($144 \text{ g C} + 22 \text{ g H} + 176 \text{ g O} = 144 \text{ g C} + 198 \text{ g } H_2O$, nøyaktig samme forhold 72:99). Sukker ble historisk kalt «karbohydrat» fordi formelen formelt kunne skrives som hydrert karbon: $C_m(H_2O)*n$. Konsentrert svovelsyre («vitriololje», H_2SO_4) har en enorm hydratiseringsentalpi og river vannmolekylene ut av sukrosemolekylet under voldsom varmeutvikling: $C*{12}H_{22}O_{11} \xrightarrow{H_2SO_4} 12C + 11H_2O_{(g)}$. Det faste karbonet blåses opp av den overopphetede dampen til en porøs kullslange. I menneskekroppen skjer derimot ikke forbrenningen direkte i lungene, men via enzymatisk celleånding (glykolyse i cytoplasma og sitronsyresyklus/oksidativ fosforylering i mitokondriene) spredt i alle kroppens vev, der energien lagres i adenosintrifosfat (ATP).

Dere vil bli forbløffet når jeg forteller dere hva dette merkelige samspillet av karbon beløper seg til. Et stearinlys brenner i fire, fem, seks eller sju timer. Hvilken kolossal mengde karbon må da ikke daglig stige opp i luften i form av kullsyre! For en mektig mengde karbon må ikke unnslippe fra hver og en av oss gjennom pusten! Hvilken overveldende omdannelse av karbon må ikke finne sted under disse omstendighetene med forbrenning og respirasjon! Et menneske omdanner i løpet av et døgn så mye som sju unser (ca. 200 gram) karbon til kullsyre; en melkeku omdanner sytti unser, og en hest syttini unser, utelukkende ved åndedrettet. Det vil si at hesten i løpet av et døgn forbrenner syttini unser trekull, eller karbon, i sine respirasjonsorganer for å opprettholde sin naturlige kroppsvarme i det tidsrommet.

Alle varmblodige dyr vinner sin kroppsvarme på denne måten, ved omdannelse av karbon, ikke i fri tilstand, men i kjemisk bundet form. Og for et overveldende bilde gir ikke dette oss av forandringene som uavbrutt pågår i atmosfæren vår! Så mye som fem millioner pund, eller 548 tonn, kullsyre dannes ved respirasjon i London alene i løpet av tjuefire timer. Og hvor blir alt dette av? Opp i luften! Dersom karbonet hadde vært som blyet jeg viste dere, eller som jernet, som ved forbrenning danner et fast stoff, hva ville da ha hendt? Forbrenningen kunne umulig ha fortsatt. Idet trekull brenner, forvandles det til en gass og stiger opp i atmosfæren, som er det mektige befordringsmiddelet, den store transportøren som bringer det bort til andre steder.

Hva blir det så av det? Hvor vidunderlig er det ikke å oppdage at denne forandringen frembrakt av respirasjonen, som synes så skadelig for oss (for vi kan ikke puste i den samme luften to ganger), er selve livsgrunnlaget og næringen for plantene og vekstene som gror på jordens overflate! Det samme gjelder under vannflaten i de veldige havene; for fiskene og andre vanndyr ånder etter nøyaktig samme prinsipp, skjønt ikke ved direkte berøring med den åpne luften.

Slike fisker som jeg har her [peker på en glassbolle med gullfisk], ånder ved hjelp av oksygenet som er oppløst i vannet fra luften, og danner kullsyre; og de svømmer alle omkring for å fullbyrde det ene store verket: Å gjøre dyre- og planteriket gjensidig avhengige av og tjenlige for hverandre. Og alle plantene som vokser på jordens overflate, lik den jeg har satt fram her som en illustrasjon, opptar karbon. Disse bladene suger opp karbonet sitt fra atmosfæren, dit vi har overlevert det i form av kullsyre, og slik vokser de og trives.

Gi dem en ren luft lik vår, og de kunne ikke leve i den; gi dem karbon sammen med andre stoffer, og de lever og fryder seg. Dette trestykket vinner alt sitt karbon, slik trærne og plantene henter sitt, fra atmosfæren, som i sannhet fører bort det som er skadelig for oss, og som samtidig er til gagn for dem — slik at det som er sykdom for den ene, er helse for den andre. Slik er vi gjort avhengige, ikke bare av våre medmennesker, men av alle våre medskapninger, idet hele Naturen er knyttet sammen av lover som lar hver enkelt del virke til beste for helheten.

Demonstrasjon F6-D29: Observasjon av gullfisk i glassbolle som ånder oppløst gass i vann

[Prøv hjemme]

Kildeanker: «Such fish as I have here [pointing to a globe of gold-fish] respire by the oxygen which is dissolved from the air by the water, and form carbonic acid; and they all move about to produce the one great work of making the animal and vegetable kingdoms subservient to each other.»

Sikkerhet for barn: Helt trygg observasjon av levende akvariedyr i glassbolle; ingen kjemikalier, varme eller fare.

Demonstrasjon F6-D30: Observasjon av grønn potteplante som opptar karbondioksid fra luften

[Prøv hjemme]

Kildeanker: «And all the plants growing upon the surface of the earth, like that which I have brought here to serve as an illustration, absorb carbon. These leaves are taking up their carbon from the atmosphere, to which we have given it in the form of carbonic acid, and they are growing and prospering.»

Sikkerhet for barn: Helt ufarlig observasjon av grønne planter og blader i dagslys; trygt for barn i alle aldre.

> Merknad: **Etter 1861.** Faradays fremstilling av karbonkretsløpet var forutseende, men vitenskapen har senere avdekket de molekylære mekanismene bak fotosyntesen og respirasjonen. I plantenes kloroplaster opptas CO_2 gjennom spalteåpningene (stomata) og fikseres i Calvinsyklusen (oppdaget av Melvin Calvin på 1940- og 50-tallet) ved hjelp av enzymet RuBisCO. Energien fra sollyset spalter vannmolekyler (H_2O) til oksygengass (O_2) og kjemisk energi (ATP og NADPH), som driver dannelsen av glukose: $6CO_2 + 6H_2O + \text{lys} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$. Fiskenes gjeller utnytter et høyeffektivt motstrømsprinsipp som henter ut opptil 80–90 % av det oppløste oksygenet i vannet (typisk 6–10 mg/L ved 15 °C). Faraday betraktet atmosfæren som et tilnærmet uendelig reservoar; i dag vet vi at forbrenning av fossilt brennstoff har hevet atmosfærens CO_2-innhold fra førindustrielle ca. 280 ppm til over 420 ppm, noe som forsterker jordens naturlige drivhuseffekt (først beregnet av Svante Arrhenius i 1896).

Det finnes et annet lite poeng jeg må nevne før vi avslutter — et punkt som angår helheten av disse prosessene, og overmåte merkverdig og vakkert er det å se hvordan det knytter seg til stoffene som opptar oss: Oksygen, hydrogen og karbon i deres ulike tilværelsesformer. Jeg viste dere nyss litt pulverisert bly som jeg brakte til å brenne; og dere så at i samme øyeblikk som brennstoffet kom i kontakt med luften, reagerte det, endog før det slapp ut av flasken — i samme stund som luften snek seg inn, reagerte det. Her har vi et eksempel på kjemisk affinitet, den kraften som driver alle våre kjemiske prosesser.

Når vi puster, pågår nøyaktig den samme prosessen i vårt indre. Når vi brenner et stearinlys, utspiller tiltrekningen mellom de ulike bestanddelene seg. Her utspant den seg i tilfellet med blyet; og det er et slående eksempel på kjemisk affinitet. Dersom forbrenningsproduktene steg bort fra overflaten, ville blyet fatte ild og brenne helt til ende; men dere husker at vi har denne avgjørende forskjellen mellom trekull og bly — at mens blyet kan tre i virksomhet i samme stund det får lufttilgang, kan karbonet forbli uforandret i dager, uker, måneder eller år. Manuskriptene fra Herculaneum ble skrevet med karbonholdig blekk, og der har de ligget i 1800 år eller mer, uten å være forandret det minste av atmosfæren, til tross for at de har vært i berøring med den under de mest skiftende omstendigheter.

Hva er det nå som gjør at bly og karbon skiller seg så markant fra hverandre i denne henseende? Det er en vidunderlig kjensgjerning å se at stoffet som er bestemt til å tjene som brennstoff, *venter* med sin virkning: Det begynner ikke spontant å brenne, slik blyet og mangfoldige andre stoffer jeg kunne vist dere, gjør; men det venter på å tre i handling. Denne ventingen er en merkverdig og forunderlig ting! Stearinlys — de japanske lysene for eksempel — kaster seg ikke ut i forbrenning straks, slik bly eller finfordelt jern gjør; men de venter i årevis, kanskje i århundrer, uten å undergå den minste forandring.

Her har jeg en tilførsel av kullgass. Dysen slipper gassen ut, men dere ser at den ikke fatter ild — den strømmer ut i luften, men den venter til den blir varm nok før den brenner. Dersom jeg gjør den varm nok, fatter den ild. Dersom jeg blåser den ut, venter gassen som strømmer ut, inntil ilden på ny bringes inntil den. Det er fascinerende å se hvordan ulike stoffer venter — hvordan noen venter til temperaturen heves en smule, og andre til den heves betraktelig.

Her har jeg en smule svartkrutt og litt skytebomull; selv disse stoffene er forskjellige i betingelsene de krever for å brenne. Svartkruttet består av karbon og andre stoffer, som gjør det ytterst brennbart; og skytebomullen er et annet lettantennelig preparat. De venter begge to, men de trer i virksomhet ved vidt forskjellige varmegrader eller under ulike forutsetninger. Ved å berøre dem med en opphetet jerntråd, skal vi se hvilket stoff som starter først [berører skytebomullen med det varme jernet]. Dere ser at skytebomullen har gått av i et glimt, men ikke engang den varmeste delen av jerntråden er nå varm nok til å antenne svartkruttet. Hvor vakkert viser ikke dette forskjellen i graden stoffene reagerer på!

I det ene tilfellet vil stoffet vente så lenge det skal være, inntil dets ledsagende stoffer vekkes til dåd av varme; men i det andre tilfellet, slik som i åndedrettets prosess, venter det ikke i det hele tatt. I lungene forener luften seg med karbonet så snart den slipper inn; selv ved den laveste temperaturen kroppen kan tåle uten å fryse til is, begynner reaksjonen i samme øyeblikk, og frembringer kullsyren i respirasjonen: Og slik forløper alle ting hensiktsmessig og vakkert. Dermed ser dere at likheten mellom respirasjon og forbrenning fremtrer enda mer slående og opphøyd.

Alt jeg til sist kan si til dere ved avslutningen av disse forelesningene (for til en ende må vi jo komme før eller siden), er å gi uttrykk for et inderlig ønske om at dere i deres generasjon må vise dere verdige til å sammenlignes med et stearinlys; at dere, lik dette, må skinne som lys for dem som omgir dere; og at dere i alle eders gjerninger må rettferdiggjøre lysets skjønnhet ved å gjøre eders dåd hederlig og gagnlig i utførelsen av eders plikter overfor eders medmennesker.

Demonstrasjon F6-D31: Kullgass fra brennerdyse holdes uantent før tent lysflamme settes inntil

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here a supply of coal-gas. The jet is giving forth the gas, but you see it does not take fire—it comes out into the air, but it waits till it is hot enough before it burns. If I make it hot enough, it takes fire. If I blow it out, the gas that is issuing forth waits till the light is applied to it again.»

Sikkerhet for barn: Utslipp og antenning av brannfarlig gass fra brennerdyse; akutt brann- og eksplosjonsfare under regel D.

Demonstrasjon F6-D32: Skytebomull og svartkrutt berøres med opphetet jerntråd for å vise ulik tenntemperatur

[Se, ikke prøv]

Kildeanker: «I have here a little gunpowder and some gun-cotton; even these things differ in the conditions under which they will burn... By applying a heated wire to them, we shall see which will start first [touching the gun-cotton with the hot iron]. You see the gun-cotton has gone off, but not even the hottest part of the wire is now hot enough to fire the gunpowder.»

Sikkerhet for barn: Skytebomull (nitrocellulose) og svartkrutt er eksplosiver som antennes med rødglødende metalltråd. Strengt forbudt for barn etter regel D.

> Merknad: **Etter 1861.** Faradays bemerkning om at brennstoff «venter», beskriver det moderne kjemiske begrepet aktiveringsenergi (E_a), formulert av Svante Arrhenius i 1889 gjennom Arrhenius-ligningen: $k = A e^{-E_a / RT}$. Termodynamisk er hydrokarboner og karbon ustabile i nærvær av atmosfærisk oksygen (forbrenningsreaksjonene er sterkt eksoterme med negativ Gibbs fri energi, $\Delta G < 0$); men de er kinetisk stabile ved romtemperatur fordi kollisjonsenergien mellom molekylene er altfor lav til å overvinne den høye aktiveringsbarrieren for bindingbrudd. Skytebomull (nitrocellulose), fremstilt av Christian Friedrich Schönbein i 1845 ved nitrering av bomull med salpetersyre og svovelsyre, har en antennelsestemperatur på ca. 160–170 °C fordi molekylet har oksiderende nitrogrupper ($-ONO_2$) kjemisk bundet direkte til det brennbare karbonskjelettet. Svartkrutt, som er en heterogen mekanisk blanding av kaliumnitrat (KNO_3, 75 %), trekull (15 %) og svovel (10 %), krever en vesentlig høyere temperatur (ca. 300 °C) for å innlede den faste fasereaksjonen.