



Kompendium:

”Elektriske grundbegreber”

Kompendiet er et forsøg på at gøre nogle af de elektriske grundbegreber mere forståelige fx vha analogier til andre måske kendte begreber. Forslag til forbedringer modtages gerne til evt. nye udgaver.

Hvis man med elektricitet mener elektroner, så er elektricitet ikke vægtløs.

Af Valle Thorø

Revideres løbende, så fejl og mangler rettes.
Revideret 10/01-04



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

Indholdsfortegnelse:

Side	
3	Batteri
4	Kredsløb
5	Elektronernes retning
	Spænding, U, [Volt]
7	Strøm, I [Ampere]
9	Modstand R [Ohm] [Ω]
	Coulomb Q [C]
12	Effekt
	Elektrisk energi (Arbejde),
13	Specifik modstand
14	Skema for forskellige leder-materialers egenskaber.:
	Materialers temperaturafhængighed
15	Elektronhastighed.
	Isolatorer, halvledere og ledere
17	Statisk elektricitet. / Statisk ladning.
18	Tribo elektricitet.
21	Vekselspænding
22	Serie og parallel-forbindelser:
	Kondensator:
24	Spole.
	Vekselspænding:
	Kondensator ved vekselspænding. Spole ved vekselspænding. Svingningskreds.
26	Lys:
28	Elektronmodel

Mangler: (ideer til yderligere tekst)

Kemisk energi bundet i træ kan omsættes til Varme



Batteri:

Spænding / Elektrontryk, Formeltegn U , måles i Volt, [V].

Et batteri - eller et element - kan sammenlignes med en elektronpumpe. Pumpen pumper elektroner fra minussiden gennem batteriet og ud på plussiden. Batteriet skaber altså ingen elektroner. Alle elektroner i Verden er skabt !!

Elektroner skabes ikke i et batteri. Batteriet flytter allerede eksisterende elektroner. De pumpes fra negativ / nul til et højere potentiale / spænding. Generatorer genererer ikke ladninger. Elektronerne i et stykke kobber var der allerede før det blev brudt i minen. Et batteri kan kun skubbe flere elektroner med en ladning ind i den ene ende af en ledning, og der løber så nogle andre ud i den anden ende. Batterier bevirker, at elektrisk ladning flyder.

Elektroner pumpes fra et niveau op på et højere niveau / potentiale. Akkurat som vand kan pumpes op på et højere niveau. Er vand fx pumpet op i et kar på loftet, eller en sø oppe i bjergene, har det fået tilført en vis mængde energi, - potentiel energi, - svarende til højden. Potentiel energi beregnes som $m \cdot g \cdot h$ [joule]. Vandets energi kan udnyttes ved at lade det løbe ned gennem en vandmølle. Vandets tryk måles fx i meter vandsøjle. – Eller nu om dage i Pascal.

I et batteri bruges batteriets kemiske energi til at pumpe elektroner op på et tryk / på et niveau / potentiale. Trykket måles i Volt [V]. Formeltegn er U .

I et vand-system er den potentielle energi, vandet har, altid i forhold til et referencepunkt, altså hvorfra det blev pumpet op. Fx fra bunden af dalen.

Ligeledes vil elektronernes tryk / spændingen skulle ses i forhold til et eller andet. Et 1,5 Volts batteri har i den ene ende et elektrontryk, dvs. en spænding, der er 1,5 Volt højere end i den anden. – Eller man kan lige så vel sige, at den i den ene ende har en spænding, der er 1,5 Volt lavere end i den anden. Det afhænger af, fra hvilken ende, man betragter situationen. Altså hvor ens reference er.

Forbinder man en højtliggende sø til et rør, der fører ned i en dal, vil vandet løbe ned, når ventilen i røret åbnes. Vandet løber fra et højere tryk til et lavere. Det løber altid nedad, ligesom elektronerne.

Forbindes en ledning fra et batteriets plus-pol til dets minus-pol, kan elektronerne løbe fra det højere tryk til det lavere. Der løber en elektronstrøm. Der løber en strøm af elektriske ladninger.

Mængden af vand eller elektroner der løber, afhænger af modstanden i røret eller tråden, og selvfølgelig af trykket / spændingen.

Et tyndt rør giver stor modstand mod vandets gennembløb, og tilsvarende vil en tynd tråd yde en større modstand mod elektronernes vandring.

Når der løber en elektrisk strøm løber der elektroner gennem ledningen. Hver elektron har en ladning, en vis – ganske vist lille – portion elektricitet.



Det indses, at der er ens strøm i hele kredsen. Ligesom det må være klart, at den mængde vand(molekyler), der løber ind i røret oppe i søen også må løbe ud i dalen. (Det forudsættes at røret er fyldt) Men det er noget andet vand, der samtidigt kommer ud i dalen.

Tilsvarende er det med elektronerne. De elektroner, der kommer ind i ledningen, skubber til nogle andre, der igen skubber til nogle andre, der ---.

Man kan kalde det et elektronflow.

Elektroner løber nedad som vand, eller en bil, der holder på en bakke. Med mindre der er en kraft, der får dem til at løbe opad. Kraften kunne komme fra en pumpe (Vand) eller en motor (bil)

”Ladningen” i et batteri er kemisk energi, hvorimod ladninger, der flyder i en ledning er en del af stof, elektron-partikler.

Og ledningerne er, - selvom de er fulde af ladninger, - neutrale og uladede udadtil. Samme antal positive ladninger i protoner, som negative elektroner.

At et batteri er opladt, betyder, at det er fyldt af energi, der er bundet kemisk, og derfor i stand til at drive / pumpe ladninger igennem det.

Når et opladeligt batteri aflades, driver dets kemiske brændstof en proces, der pumper ladninger gennem batteriet. Brændstoffet bruges efterhånden, men den totale elektriske ladning inde i batteriet ændres ikke.

Opfat fx et opladeligt batteri som en optrækbar fjederdreven vandpumpe. Sendes vand baglæns gennem pumpen, spændes fjederen. Pumpen gemmer ikke på vand. Hvis der herefter åbnes et rør rundt fra pumpens udgang i et kredsløb tilbage til pumpens indgang, pumper vandet rundt i kredsløbet. Vandet pumper gennem pumpen.

Samme forhold gælder for et batteri. Vandet forestilles nu at være ladning. Det indses, at batteriet ikke gemmer ladninger, og ikke producerer ladninger. Den pumper ladninger.

Det er kemikalierne i batteriet, der lagrer energi ved opladning.

Man kan erstatte ordet ”strøm” med ”ladnings flow”.

I et kredsløb er ladningerne i kredsløb, men det er energien ikke ! Et batteri kan sende energi til en pære, og pæren ændrer energien til lys og varme. Energien flyder ikke tilbage til batteriet igen sådan som ladningerne gør i nul-ledningen.

Kredsløb.

Solens fordampning af vand får vand til at stige til vejrs, hvor det fortættes til skyer og senere regner ned. Vandet samles i en bjergsø, hvor det har større potential energi end før. Solen har pumpet energi i vandet, og denne energi kan udnyttes igen ved at lade vandet løbe ned igennem en møl-



le, (turbine). Solen har tilført vandet energi, - altså udført et arbejde. Når vandet er løbet ned, fx gennem en turbine, har vandet udført et arbejde, og kredsløbet er slut, og kan starte forfra.

I elektronikkens verden er der også tale om et kredsløb. Elektroner pumpes op på et potentiale (i Volt), og hvis der er forbindelse ned igen, kan elektronerne løbe, der løber en strøm. Elektronerne kan fx sendes gennem en glødepære. Her støder elektronerne imod mange wolfram-atomer, der bliver varme. Elektronerne afleverer deres energi til glødetråden, der bliver så varm, at den lyser. Elektronerne er nu fx nede på 0 Volts tryk igen, og kredsløbet er slut, og kan starte forfra.

Et 9 volt batteri giver et elektrontryk (potentiel energi) på 9 Volt, og der kan udføres et stykke arbejde, hvis elektronerne får lov til at løbe ned til 0 Volt. Den modstand de løber gennem bliver varm. Der udføres et stykke arbejde. $W=U \cdot I \cdot t$ [Volt · Ampere · Sekund]

Elektroner og protoner er stof, ikke energi. Et flow af elektroner er derfor ikke et flow af energi. Det er et flow af stof. Ladninger knytter sig til elektroner.

Elektrisk strøm i et kredsløb er ikke et flow af elektroner. Det er et flow af ladninger, eller flow af ladede partikler.

Elektronernes retning.

Videnskabsmændene vidste for 150 år siden ikke noget om elektroner. De vedtog en konvention om at retningen af elektrisk strøm er fra den positive pol til den negative, fordi de opfattede ladningsbærerne som positive. Men man har senere fundet ud af, at ladningsbærere, dvs. elektronerne, er negative, og at elektronerne rent faktisk løber fra minuspolen mod plus-polen. Så der er altså overskud af elektroner ved den negative pol på et batteri, og underskud ved den positive pol.

Men vi har vænnet os til at opfatte strøm gående fra plus til minus. Alle regler er skabt herudfra. Man har tegnet diagrammer ud herfra. Med plus for oven, og med strømretning nedad mod minus. Osv.

Strømretningen i diagrammer følger den dag i dag konventionen ” fra positiv til negativ ” selvom elektroner altså løber fra negativ til positiv.

Altså - tilsluttes et batteri til et kredsløb, tiltrækkes elektroner til den positive terminal. De der forlader ledningen erstattes af andre, der igen erstattes af andre der igen osv. og ved den negative pol erstattes de, der flyder mod den positive pol, af elektroner fra batteriet. Brydes ledningen stopper flowet.

Det er svært at ændre, ligesom englændernes venstrekørsel. Men englænderne laver jo ikke flere ulykker, og fortsætter nok med venstrekørsel. Og elektriske diagrammer fortsætter såmænd nok også med den gamle vedtagne konvention. Vi ved det bare, at vi har gjort en fejl, og lader så som om retningen er fra + til minus !!

Spænding U [Volt] [V]



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

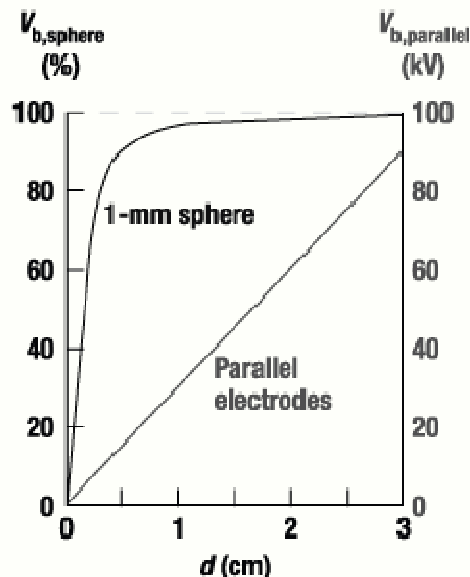
Spænding eller spændingsdifference eller elektrontryk siger noget om det tryk, der er på elektroner fx til at presse dem gennem en modstand eller en pære.. Jo højere tryk, jo flere elektroner vil presses gennem.

Man kan også opfatte det sådan, at et batteri giver en feltstyrke gennem en leder. Feltstyrken er batterispændingen divideret med lederlængden. Det er feltstyrken, der driver elektronerne. Altså kraften pr meter.

Hvis spændingen mellem to ikke forbundne ledere bliver for høj, springer der en gnist. Dvs. spændingen pr meter – eller feltstyrken bliver for høj, – springer der en gnist. Dette sker fx ved lynnedslag, i tænd-elektroder i oliefyr, og tændrør i biler. Spændingen mellem to steder er større end gnistafstanden, og der springer en gnist.

Hvis man er opladt med (statisk) elektricitet – og rører ved fx en bil eller en radiator, springer der også en gnist. Der skal 2000 – 3000 Volt til for at man kan mærke gnistudladningen. For at der kan springe en gnist, skal der være en spændingsforskel mellem den ledende genstand, man rører, og en selv. Og det er uden betydning, om man er positivt eller negativt opladet i forhold til genstanden. Der vil også springe en gnist, hvis man rører en anden person, der er opladt til samme polaritet – men til en anden spænding !!

Den gnist-spænding, eller breackdown spænding, der skal til, er 3000 V pr mm, for parallelle flader. For gnister mellem nåle, sker der det, at feltstyrken ved spidserne stiger, og ionerne i luften accelereres kraftigt, luften ”ioniserer”. Derfor behøver den nødvendige spænding ikke at være så høj for at der springer en gnist. Flg graf, viser nødvendig spænding for at der springer en gnist for hhv. en 1 mm nål, og for parallelle elektroder som funktion af afstanden !



Kilde: <http://ce-mag.com/archive/02/01/MrStatic.html>



Der skal være en feltstyrke på 2 – 3 Mio V/m før der springer en gnist. Man siger også, at gnist-spændingen er 2 – 3 Mio V/m.

Dvs. at afhængig af afstanden mellem 2 ledninger, fx 2 baner på et print, skal der forskellig spænding / feltstyrke til for at der springer en gnist. Jo højere spænding, jo større skal sikkerhedsafstanden være !

Det materiale, der er mellem to ledere, eller fx i en kondensator, kaldes et "Di-elektrikum". Bliver den spænding, som pågældende di-elektrikum kan modstå – i Volt / m, overskredet, kommer det til gennemslag. Også hvis lederne er isoleret. Tør luft har en gennemslagsspænding på ca. 30 KV pr cm. og mindre ved fugtig luft.

Er en person opladt til en spænding, skal man være meget varsom ved omgang med elektronik. Når man rører ved ledende materiale, fx kobberbaner, eller IC-ben, vil der ske en potentiale-udligning. Det betyder, at der vil løbe en strøm indtil der er opnået samme spænding. (Forbindes to søer med et rør, vil der tilsvarende ske en niveauudligning). Det er disse udladninger / gnister, der ødelægger elektronik. I selve øjeblikket, gnisten springer, fx til et komponent-ben, løber der så stor strøm, at elektronik-komponenten kan "smelte" inden i. Der er jo ikke stor modstand imod at strømmen løber ! Selv hvis man ikke observerer, at der springer en gnist, kan komponenterne ødelægges af for store strømme, der løber for at udligne spændingsforskelle ved berøring.

Derfor bruges der armbånd med ledende forbindelse til arbejdsbordet og til stel, når man arbejder med følsom elektronik. Armbåndet må dog ikke være en tråd, næsten uden modstand. Dette ville bevirke, at man selv ville få et for stort, farligt strømstød, hvis man var uheldig og rørte ved en for høj spænding, fx en fase i lysnettet. I armbåndet er der nok en modstand på ca. 1 Mohm.

Ved lyn mellem sky og jord eller mellem 2 skyer, må der altså være flere hundrede mio. Volt før luften bliver ledende (ioniseret). I en lyn-kanal kan løbe 100.000 Ampere eller mere, men kun i få micro-sek. Der er daglig ca $8 \cdot 10^6$ lyn på jorden. $\frac{3}{4}$ af dem er mellem skyerne. I vores del af verden slår ca 2,5 lyn ned pr km^2 dagligt.

Et lyn opvarmer den omgivende luft, og denne udvider sig næsten momentant. Ved udvidelsen sker der en trykforøgelse, der breder sig udad. Den trykbølge, der opstår, høres som torden.

Når lynet slår ned i jorden, vil strømmen brede sig ud i jorden i alle retninger. Da der jo er modstand i jorden, vil der opstå spændingsforskel, og hvis man står i nærheden – eller en ko gør det, kan der opstå en stor spænding mellem benene. En såkaldt skridtspænding. Denne spænding – og dermed strøm - kan være dødelig. Man må hoppe væk fra stedet på 'et ben. !!

En fugl, der sætter sig på en højspændingsledning, sker der ikke noget med, idet der jo ikke går noget elektronflow igennem fuglen.

Er man godt isoleret fra jorden, sker der ikke noget ved at røre ved en fasen.

Nogle bøger påstår, at de separerede ladninger i en tordensky opstår ved gnidning. Fx fordi de fallende dråber gnider mod luften. Dette er ikke korrekt. Faktisk er den korrekte forklaring ukendt.



Der eksisterer flere forklaringer, men ingen er accepteret af videnskaben, og alle forklaringer har svagheder.

Én nuværende teori er at i en mixture af regn og halvt smeltet hagl, bliver is og vand modsat elektrificeret ved kontakt. De store hagl falder hurtigere end de små regndråber og tåge. Herved opstår to store regioner i skyen, en lavere region af hagl, og en øvre af regn. Disse regioner indeholder modsat ubalance af elektrisk ladning. Så kontakt mellem uens materialer efterfulgt af separation skaber spændingsforskellen.

Strøm I måles i [Ampere]

Elektronflow. Enheden for strøm er Ampere. [A] Formeltegnet er I. .

En elektrisk strøm, eller elektron-strøm, er en bevægelse af elektroner i et ledende materiale, fx kobber.

Elektronstrøm kan opfattes som vand der løber i et rør. Er trykket stort i den ende, hvor det løber ind i røret, er flowet i røret stort. Er trykket mindre, er flowet også mindre. Er modstanden i røret ikke så stort, vil flowet være større.

Strømmen måles som ladningsmængden pr tidsenhed, ligesom vandflow måles i liter pr sek. Altså antal elektroner pr sekund, eller vandmolekyler pr sek.

$$I = \frac{Q}{t} \left[A = \frac{C}{s} \right]$$

$I [A] = Q/t [C/s]$ I er strømmen, Q er ladningsmængden i Coulomb, og t er antal sekunder.

Man indser at strømmen i en leder er den samme i hele længden. Tilsvarende i vandrørssystemer. Den mængde, der løber ind, må også løbe ud. Ellers ophobes der vand, og rørene buler ud, og det sker jo ikke. Ladninger/ elektroner kan heller ikke gemmes i en leder.

Den elektriske ledningsproces i metaller er betinget af, at de elektroner, der hører til det enkelte atom, ikke alle er lige stærkt bundet til atomkernerne. En del af elektronerne er frie elektroner, der snart slutter sig til det ene atom, snart det andet. De kan opfattes som en sky af frie elektroner, eller en elektronsuppe. Og de kan – hvis metallet udsættes for en elektromotorisk kraft / spænding / feltstyrke – bevæge sig i en hovedretning.

Da elektronerne har negativ ladning, vil de bevæge sig i retning af den positive klemme på spændingskilden, - samtidig med, at der ved spændingskildens negative klemme tilføres lederen lige så mange nye elektroner.

Enheden Ampere er defineret ud fra den kraft, der er mellem to strømførende parallelle ledere.

Når individuelle atomer af fx kobber samles til et stykke metal, forlader de ydre elektroner i de enkelte atomer deres moderatom. Elektronerne er ikke længere bundet til et enkelt atom, men kredser rundt i hele materialet mellem alle atomer. På en måde hopper de fra atom til atom selv om der ikke



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

er påtrykt en spænding. Metallet kan opfattes som en svamp, der er vædet med ”flydende ladning”. De opfører sig som fyldte rør (hvis formet til ledning) De er fyldte med ”flydende elektroner”.

Dog ikke alle elektroner er løse og begynder at vandre. Mange holdes tilbage, og forbliver fast tilknyttet til sit atom. Forskellige slags metaller ”donerer” forskelligt antal elektroner til den fælles flydende elektronsuppe i metallet. I nogle metaller ”mister” atomerne kun én elektron, i andre to eller flere bliver frie elektroner.

Metallet består altså af et antal positivt ladede fastsiddende atomer, og løse elektroner.

De flydende elektroners bevægelse i metallet sker ved høj fart. Også selvom der ikke løber en strøm ! Bevægelsen sker lignende tilfældig termisk bevægelse af en gas. Summen af bevægelserne regnet med fortegn er nul. Normalt ignoreres elektron-bevægelsen ligesom man ikke tænker på luftmolekyleres bevægelse i vinden.

Påtrykkes en spænding, og der løber en strøm, vil elektronernes samlede bevægelse være mest i den ene retning, men stadig bevæger de sig tilfældigt. Den gennemsnitlige hastighed den ene vej, hvis der løber strøm, ligger i størrelsesordenen centimeter pr minut.

Men energien bevæger sig hurtigt frem. Svarende til, at man giver et cykelhjul på en omvendt cykel et skub. Hele hjulet drejer ! Energien overføres til hjulet med hånden. Den tilføres hele hjulet samtidigt. Og kan tages ud af en dynamo et andet sted på hjulet. Eller man kan lade en håndbremse hjulet. Hånden bliver varm, har fået tilført energi. Hånden trækker energi ud af hjulet.

Alle ladninger rundt i kredsløbet / alle molekyler i hjulet løber med samme hastighed efter belastningen. ! Energien var tilført hele kredsløbet.

Drejer man nu hjulet frem og tilbage med den ene hånd, samtidig med at den anden gnider mod den for at bremse den, vil der stadig overføres energi til den bremsende hånd. Dette illustrerer energi-overførsel ved vekselspænding / vekselstrøm !

Modstand R [Ohm] [Ω]

Formeltegn R, Enhed ohm, [Ω]

Den modstand, et materiale yder mod at elektronerne løber gennem det, måles i Ohm. Formeltegnet er R.

En modstand har modstanden 1 Ohm hvis der løber en strøm på 1 Ampere når der påtrykkes en spænding på 1 Volt. Heraf fås Ohms lov: $U = I \cdot R$

I et vandrør vil fx kalkaflejringer give større modstand mod vandets flow. Tilsvarende vil elektronerne flow i en ledning eller en modstand være mindre, hvis ikke materialet leder særlig godt. Altså er modstanden større.

Metallernes molekyler er som regel ordnet i regelmæssige rumgitre. Dvs. efter bestemte rumlige mønstre, hvor molekylerne har bestemte indbyrdes afstande.



Denne regelmæssighed i opbygningen ødelægges ved opvarmning af metallet, idet molekylerne herved bibringes kraftigere vibrerende bevægelser.

Jo mere uregelmæssig metallet er i sin opbygning, jo flere hindringer byder det de frie elektroners bevægelse. Dette forklarer, at de fleste metalls elektriske modstand vokser med temperaturen.

Ved sammenstødet mellem de frie elektroner og de nævnte hindringer fremkaldes den opvarmning af lederen, som altid følger med strømmens passage gennem den.

Sammenlignes med luftflow ses at der er modstand mod luft-flowet i rør og ventil, når man fx pumper et dæk op. Ellers ville dækket være pumpet op momentant. Og ventilen bliver varm !!

Coulomb Q [C]

Ladningsmængde. Formeltegn Q, Enhed Coulomb, [C]

Enheden for ladning hedder Coulomb. 1 coulomb er defineret som den ladning, der passerer et ledningstværsnit når der løber 1 Ampere i 1 sek.

Hver elektron har en ladning Q på $-1,6 \times 10^{-19}$ [C]. Derfor skal der $6,2 \times 10^{18}$ elektroner til for at få ladningen 1 [C]. Der løber altså $6,2 \times 10^{18}$ elektroner gennem et tværsnit af en ledning hvert sekund, hvis der måles en strøm på 1 Ampere. En elektrons ladning kaldes for elementar-ladning. Det er den mindste elektriske ladning, der findes. Elementarladningen kaldes "e"

$$Q = I t \quad [C = As]$$

Elektronernes hastighed

Hvad er elektronernes hastighed i en 1 mm^2 kobberledning, hvori der løber 1 Ampere ??

Hvis der løber 1 [A] i en 1 mm^2 kobber-ledning, må der i et tværsnit i løbet af 1 sek. passere

$$Q = I \cdot t = 1 \cdot 1 = 1 [\text{Coulomb}]$$

Da hver elektron har ladningen $e = 1,6 \times 10^{-19}$ [C] vil 1 [C] svare til $\frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 6,25 \cdot 10^{18}$ elektroner.

Altså passerer $6,25 \cdot 10^{18}$ elektroner tværsnittet i løbet af 1 sek.

Det rumfang kobber, der har $6,25 \cdot 10^{18}$ frie elektroner må følgelig "passere" tværsnittet.

I 1 m^3 kobber er der 10^{29} frie elektroner.



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

I en tråd med tværsnittet 1 mm^2 og med længden 1 mm må der være $\frac{10^{29}}{1000^3} = 10^{20}$ frie elektroner.

Længden af den 1 mm^2 tråd, der indeholder $6,25 \cdot 10^{18}$ elektroner må være $\frac{6,25 \cdot 10^{18}}{10^{20}} = 0,0625 \text{ mm}$.

Elektronernes hastighed er altså $0,0625 \text{ mm}$ pr sek.

(Når strømmen løber, regnes med at alle ladningsbærere (elektroner) løber i samme retning mod en af enderne med hastigheden v . q er ladningen af hver elektron.)

Formel:

Tager det tiden t for hver elektron at bevæge sig fra den ene ende til den anden må længden være
 $l = vt$.

Lederens volumen må så være
 vtA

Er der n ladningsbærere pr enhed volumen af lederen = elektroner må det totale antal ladningsbærere være givet ved
 $nvtA$

Hver ladningsbærer = elektron har ladningen q . Derfor må den samlede ladning Q i ledningens volumen være

$$Q = qnvtA$$

I tiden t er alle ladningsbærere i ledningens volumen løbet ud af den ene ende af ledningen (og selvfølgelig erstattet af andre fra batteriet)

Strømmen I er lig med ladningen der har passeret et tværsnit af ledningen pr tidsenhed. Strømmen måles i Ampere ! Strømmen udgøres af elektroner med en ladning hver. Der gælder flg.

$$Q = It \quad \text{som omformes til } I = Q/t$$

I kan nu også skrives $I = qnvtA/t \Rightarrow I = qnvA$ som igen kan omskrives til $v = I/qnA$

l = længden af lederen

I = Strøm

n = antal ladningsbærere pr m^3

v = hastigheden af ladningsbærerne

A = tværsnitsareal af lederen

q = ladningen af hver ladningsbærer

Q = Samlede ladning



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

eks.

Udregn hastigheden af frie elektroner i en kobberledning med en diameter på 1 mm, hvor der går en strøm på 5 Ampere

Givet:

Antal frie elektroner pr. m^3 i kobber er ved stuetemperatur ca. 10^{29} .

Hver elektrons ladning er $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Løsning:

Først findes tværsnitsarealet: $A = \pi r^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2 m^2$

Fra $I = n v A q$ fås $v = I / n A q$

$$v = \frac{I}{n A q} = \frac{5}{10^{29} \times \frac{\pi}{4} \times (1 \times 10^{-3})^2 \times 1,6 \times 10^{-19}} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Herfor er elektronernes hastighed $v = 4,0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ som er 0,4 mm pr sek.

Tabel over antal frie ladningsbærere i forskellige materialer. Free Electron Number Densities

Element	N/V $\times 10^{28}/m^3$
Cu	8,47
Ag	5,86
Au	5,90
Be	24,7
Mg	8,61
Ca	4,61
Sr	3,55
Ba	3,15
Nb	5,56
Fe	17,0
Mn*	16,5
Zn	13,2
Cd	9,27
Hg**	8,65
Al	18,1
Ga	15,4
In	11,5



Sn	14,8
Pb	13,2

*alpha form **at 78K

Kilde: <http://HyperPhysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/fermi.html>

Energiafsætning /Effekt:

Ledende materialer, - ledere – er ikke ideelle ledere. De har en vis modstand, afhængig af materialet. Forbinder man fx en vinkelsliber til lysnettet via en kabeltromle, bliver ledningen varm. Er tromlen ikke rullet ud, kan man opleve, at kabeltromlen bliver så varm, at den ligefrem kan smelte.

Dette skyldes modstanden i kobbertråden, og den strøm, der løber i den. Den effekt, der afsættes, kan udregnes som $P = U \cdot I$ [Watt = Volt · Ampere] Eller ved omskrivning, $P = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$

Indregnes tiden, hvorover en effektafsætning forløber, findes den energi, der er afsat.

Når man skal måle, hvor hurtigt energi omdannes / afsættes, bruges størrelsen *Effekt*. Effekten betegnes med P (af engelsk: Power).

Effekten P kan udtrykkes som den energi E, der omsættes pr tidsenhed.

$$P = \frac{E}{t} \left[W = \frac{J}{s} \right]$$

SI-enheden for effekt er W (watt) og er Joule pr sek.

Tilsvarende fås: $E = P \cdot t$ [J = W · s]

I praksis bruges – især til elektrisk energi - enheden kilowatt-time. kWh

Hvis der går strøm gennem en komponent, vil komponenten modtage energi fra strømmen. Tilsvarende vil en vandstrøm gennem en mølle / turbine – afgive energi til møllen – svarende til tabet i vandets kinetiske energi. – (Eller trykfald gange flow)

Løber strømmen gennem et varmelegeme, en modsand, fx en elektrisk grill, bliver den varm. Den elektriske energi omsættes til varmeenergi.

Den energi, der afsættes er: $E_{Elek} = U \cdot I \cdot t$ [J = V · A · s]

Effekten er energi afsat pr sekund, og måles i Watt, altså

$$P = U \cdot I$$
 [W = V · A]

Watt sekund = Joule.



$$\text{Energien } 1[\text{kWh}] = 10^3 [\text{W}] \cdot 3600[\text{s}] = 3,6 \cdot 10^6 [\text{Joule}]$$

Energi måles i Joule. Hastigheden energien flyder kaldes Joule / sekund. Kaldes "effekt" eller på engelsk "Power", og måles i Watt. Dette forvirrer måske, kan blot kaldes Joule/ sekund.

Elektrisk energi (Arbejde),

$$A_e = U \cdot I \cdot t [V \cdot A \cdot s] = [\text{Wattsekund}] = [\text{Joule}] = [J]$$

Energi er effekt gange tiden.

Går der en strøm gennem en modstand, fx en varmelegeme i en elektrisk grill, ses tydeligt, at der bliver afsat elektrisk varmeenergi.

Specifik modstand

Modstanden i en leder er afhængig af materialet, og af arealet af lederen. Derfor har man målt forskellige metalleres modstand i en leder med længden 1 meter og tværsnitsarealet 1 mm². Man taler herefter om en ledeses specifikke ledeevne eller omvendt om "materialets specifikke modstand". Den specifikke modstand angives i formler med ρ (Rho).

Men ved overgangen til SI-systemet er grundenheden 1 meter. Alle afstande regnes i meter. Derfor er ledernes modstandsværdier nu opgivet for et lederareal på 1 m².

Modstanden i en leder kan beregnes efter følgende formel: Formlen bruges, hvis værdien for specifik modstand er angivet for et ledertværsnit på 1 mm²:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \left[\frac{\left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right] \cdot [\text{m}]}{[\text{mm}^2]} \right] = [\Omega]$$

ρ₂₀ (Rho) er her fra de gamle værdier for specifik modstand, Længden l indsættes i meter og arealet A indsættes i mm²

Bruges de nye SI-enheder skal arealet være i m², og den specifikke modstand angives pr m².

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \left[\frac{\left[\frac{\Omega \cdot \text{m}^2}{\text{m}} \right] \cdot [\text{m}]}{[\text{m}^2]} \right] = [\Omega]$$

ρ₂₀ (Rho) er for et lederareal i m².



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

Længden l indsættes i meter og
arealet A indsættes i m^2 .



Skema for forskellige leder-materialers egenskaber.:

Materiale	Ledeevne γ i $\left[\frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right]$	1 mm ²	1 m ²	Temperaturkoefficient α_{20} (Modstandsændring pr Grad C)
		Specifik modstand ρ_{20} (Rho) i $\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right]$ ved 20 grader C.	Specifik modstand efter SI-systemet. ρ_{20} (Rho) i $\left[\frac{\Omega \cdot m^2}{m} \right]$	
Sølv	61	0,0163	0,0163 E 10 ⁻⁶	0,004
Kobber	56 – 58	0,0175	0,0175 E 10 ⁻⁶	0,0042
Guld	43,5	0,023	0,023 E 10 ⁻⁶	0,0037
Bronze	18 – 48	0,078		0,004
Bly		0,208	0,208 E 10 ⁻⁶	0,0038
Aluminium	36	0,028	0,028 E 10 ⁻⁶	0,004
Jern	7 – 10	0,13	0,13 E 10 ⁻⁶	0,005
Konstantan		0,5	0,5 E 10 ⁻⁶	- 0,00004
Zink	16,5	0,062	0,062 E 10 ⁻⁶	0,0039
Messing	15,9			
Nikkel	14,5	0,1	0,1 E 10 ⁻⁶	0,0047
Platin	9,35	0,1	0,1 E 10 ⁻⁶	0,0037
Tin	8,3	0,12	0,12 E 10 ⁻⁶	0,0046
Wolfram		0,055	0,055 E 10 ⁻⁶	0,0045

Værdierne i SI-systemet er i $\mu\Omega$, fordi 1 m² af materialet er 10⁶ gange så stor som 1 mm²

Eks: en kobbertråd er 30 m lang. Tværsnit er 1,5 mm² . Temperaturen er 20 grader C.

$$R_l = \frac{\rho \cdot l}{q} = \frac{0,0175 \cdot 10^{-6} \cdot 30}{1,5 \cdot 10^{-6}} = 0,35 \Omega$$

Materialers temperaturafhængighed

Materialers modstand er også temperaturafhængig. For de fleste metaller vil modstanden stige ved stigende temperatur. Ved temperaturstigning udfører atomerne i et metalgitter livligere temperatursvingninger. Herved kolliderer flere strømbærende elektroner med de svingende atomer. Elektronstrømmen ”bremses” mere, og materiale-modstanden stiger.

Atomernes hastighed som følge af termiske bevægelse kan være så høj som 1x10⁶ m/s !!

Elektronerne støder ind i atomer, når de bevæger sig. Ved absolut nulpunkt, -273,15 grader, er der ro, og elektronerne kan uhindret passere gennem materialet. Ved højere temperaturer vil atomerne vibrere i vilkårlig retning. Elektronerne omkring kernerne følger med, og bevirker at der faktisk går strømme i materialet. Men da elektronerne bevægelsesretninger er vilkårlige, bevirker det, at der samlet set ikke løber strømme i en bestemt retning pga. varme-vibrationer. Først når der påtrykkes et felt, dvs. en spænding, vil flere elektroner løbe i ’en retning, end i de øvrige, og der går samlet set en strøm.



Eks. En glødelampe har ved stuetemp. en modstand på 60 ohm. Når den lyser, er dens temperatur 2000 grader. Temperaturkoefficienten for Wolfram er 0,0045 Modstanden findes som

$$R_{2000} = R_{20}(1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T)$$

$$60(1 + 0,0045 \cdot 1980) = 595 \text{ ohm}$$

Modstanden i en pære stiger altså når den er tændt og varm. Det betyder også, at strømmen i startøjeblikket er ret høj !!

Temperaturkoefficienter angives i promille pr. grader C. For kobber er den eksempelvis 4,2 ‰ / °C, pr Ohm.

Dette betyder at modstanden stiger med en faktor α for hver gang, temperaturen stiger 1 grader. Hermed er modstandsændringen ΔR pr ohm.

$$\Delta R = \alpha \cdot \Delta T$$

For kobber findes ved en temperaturstigning på 10 grader en modstandsændring

$$\Delta R = 0,0042 \cdot 10 = 0,042 \text{ } [\Omega] \text{ for hver ohms modstand i tråden.}$$

Elektronhastighed.

Ses der bort fra termisk hastighed, kan man regne ud, hvor hurtigt elektroner gennemsnitlig løber i en leder med en given strøm. Det må jo – som i vandrør – være sådan, at når en elektron løber ind i en ledning, løber en anden ud i den anden ende !

Kender man antallet af frie elektroner pr m^3 kan man udregne elektronhastigheden ! Den er forbausende lille. Under 1 mm pr sek, selv ved strømme på flere ampere !

Isolatorer, halvledere og ledere

Alle ledere indeholder flyttelige ladninger.

En leder er et materiale, der indeholder bevægelige ladninger.

Ledere, hvortil de fleste metaller hører, har særligt små specifikke modstande (10^{-2} til 10^{-6} ohm cm. der vokser tilnærmet proportionalt med temperaturen. Koncentrationen af frie ladningsbærere er overordentlig stor i ledere og kun lidt afhængig af temperaturen. Dog stigende ved stigende temperaturer.

Isolatorers specifikke modstand opfører sig på samme måde som halvledere, med aftagende specifik modstand ved stigende temperaturer. Men der er kun få frie elektroner pr enhed !

Elektroner flyder rundt i metaller med en meget stor termisk hastighed uafhængig af temperaturen.



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

Deres retning ændres hyppigt af kollisioner med ionerne. Man kan regne med gennemsnitsafstande mellem kollisionerne.

Uden et elektrisk felt over lederen er der ingen netto-flow i nogen retning. Påtrykkes et felt E vil elektronerne få en kraft modsat E og får en netto-drift-hastighed v langs kraften. Denne hastighed er meget lille i forhold til den termiske hastighed.

I metaller er der typisk 1 eller 2 frie elektroner pr. atom.

Elektriske isolatorer har en resistivitet, der er en faktor 10^{22} større end for ledere.

Materialer, der er gode elektriske ledere, er normalt også gode termiske ledere fordi de frie elektroner transporterer både ladning og termisk energi. Isolatorer har meget få frie elektroner, så de leder hverken elektricitet eller varme.

Halvledere har en resistivitet, der ligger mellem ledes og isolatores. Materialet har kun få ladningsbærere eller huller pr enhed.

Termisk bevægelse svarer til ca. 10^6 m/s

Et stof har ledeevne, hvis der er mobile ladningsbærere tilstede. I metaller fx. kobber, er atomerne arrangeret på en systematisk måde, som kaldes krystaller. Valenselektronerne er løst bundet til kernen og skaber det, der kaldes en "elektronsø". Disse frie elektroner er på engelsk kaldet "delocalized" og det er disse, der er ansvarlig for ledeevnen, idet de er istand til at bevæge sig, og derved kan de flytte ladning. Når et elektrisk felt på U volt/m er påtrykt, accelereres elektronerne og bevæger sig modsat retning, som feltet.

Et materiales ledeevne afhænger af antallet af ladningsbærere og deres mobilitet under påvirkning af et elektrisk felt.

Ledevne = (Mobilitet) x (antal af ladningsbærere pr rumfang) x (ladning båret af hver [As])

$$\sigma = \mu \cdot n \cdot q$$

hvor sigma er ledeevne, n er antal ladningsbærere, og q er ladning af hver elektron eller hul. [As]

Parameteren μ er ladningens mobilitet og er hastigheden af en enhedsladning ved en påtrykt enhedsfelt E.

$$\mu = \frac{\text{Charge Velocity}}{\text{Påtrykt felt}} \left[\frac{\frac{m}{s}}{\frac{V}{m}} \right] = \left[\frac{m^2}{Vs} \right]$$

Ledningsevnen enheder er derfor

$$\text{Enhed af sigma} = \left(\frac{m^2}{Vs} \right) \left(\frac{\#}{m^3} \right) (As) = \frac{A}{V} = \text{Ohm}^{-1} \text{ ??????}$$



$$R = \rho \frac{L}{A} = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A}$$

Modstand er så $L / \sigma A$

Statisk elektricitet. / Statisk ladning.

Ordet elektrostatik er græsk og betyder ”Læren om stillestående elektricitet og de dertil knyttede virkninger”. Ordet elektricitet er afledt af det græske ord for rav, ”elektron”, fordi man dengang havde opdaget, at et stykke rav efter gnidning mod et andet materiale kunne tiltrække hår eller lette dun.

Statisk elektricitet / statisk opladning sker, når negative ladninger adskilles / separeres fra de positive. ”Statisk” har ikke noget at gøre med at være stationær – eller statisk. !

Strøm er ladninger i bevægelse, har ikke noget at gøre med separation af modsatte ladninger.

Statisk elektricitet er egentlig et forkert navn. Burde have heddet ”Ladnings separation”. Statiske ladninger er ikke det modsatte af strøm.

Statisk elektricitet skyldes ikke friktion. Statisk elektricitet opstår, når to uens isolerende materialer er placeret i intim kontakt og derefter igen adskilles. Berøringen er nok.

Hvis klæbende tape sættes fast på et bord, og rives af igen, vil både bordet og tapen blive ladet. Der kræves ikke gnidning. Når et plastikhjul ruller på fx en gummioverflade, vil begge overflader blive elektrificeret. Selvfølgelig vil gnidning give mange kontakter og adskillelser, og derfor give anledning til flytning af ladninger.

Statisk opladning er ikke en ophobning af elektroner. Det er en ubalance mellem antallet af positive og negative partikler, der allerede er tilstede.

Ved kontakt-elektrificering er det normalt kun de negative elektroner, der er flyttet. Når negative partikler er trukket væk fra de positive partikler, skabes der ens og modsatte områder af ubalance. På et sted er der flere protoner end elektroner, på det andet flere elektroner end protoner. Er der overskud af protoner, vil området have overvejende positiv ladning. Der er skabt ubalance, separation. Det videnskabelige udtryk for statisk elektrificering er ”Ladningsseparation”

Loven om konservering af elektrisk ladning kræver, at hver gang man skaber et område med negativ ladning, skaber man også et område med positiv ladning.

Statisk elektricitet eksisterer når der er uens antal af positive og negative ladninger. Og det er underordnet, om området med ubalance er ledende eller isolerer, om ladningerne kan flyde, eller de er ”statiske” (på et isolerende materiale). Det er kun ubalancen, der er af betydning.



Alle faste objekter indeholder umådelige mængder af positive og negative partikler, hvad enten objektet leder strøm eller ikke. Hvis antallene ikke er nøjagtig ens, siger man, at objektet er opladt. Det kan både være positiv og negativ. Er antallet ens, siger man, at objektet er neutral, eller uladet, eller afladt. Statisk elektricitet er altså en ubalance i antallet af positive og negative ladninger, og har derfor intet at gøre med at ladningerne sidder fast, eller er i bevægelse. Statiske ladninger kan let bringes til at løbe i en leder. Og opfører sig her som alm. strøm.

Statisk elektricitet er altså ikke et antal af ladede partikler, der **ikke** er i bevægelse.

Tribo elektricitet.

Ved statisk elektricitet forstås normalt opladning af en person.

Der er 3 normale måder at generere statisk ladninger : Triboelektrisk generering, field induction og direkte ladning.

Direkte ladning er et resultat af at påtrykke en spænding eller en strøm fra en spændingskilde direkte til et materiale, men dette virker kun på ledere.

Tribo-ladning og field induction virker ved både isolatorer og ledere.

Ladninger, der sidder på isolatorer kan ikke bevæge sig nogen steder hen. Dette er tilfældet hvis der sidder ladninger (elektroner) på fx et stykke plast eller porcelæn.

Alle kender fænomenet med, at det knitrer og klæber, når man på tørre dage trækker en nylonbluse over hovedet.

Mange gange i løbet af dagen bliver vi udsat for noget tilsvarende uden at lægge mærke til det. Udladningsspændingen / gnistspændingen skal nemlig være ca 3500 Volt, før man kan føle det. Over 4500 V kan man høre udladningen, og over 5000 V man kan se en udladning som en gnist. Og det er først, når man rører ved et materiale / en person, der er ladet til en anden spænding, at der sker en potentiale-udladning.

Når to forskellige materialer gnides mod hinanden, vil det ene af materialerne optage elektroner, og det andet afgive elektroner. Materialet, der optager elektroner, bliver negativt ladet, og materialet, der afgiver, bliver positivt ladet.

Statisk elektricitet frembragt ved gnidning kaldes på dansk gnidningselektricitet, på udenbysk ” Triboelektricitet ”

Men ordet gnidning, eller friktion er misvisende. Separation af ladninger sker ikke pga. friktion. Men overfladens ubalance i spænding kommer af sammenklæbning på det molekylære niveau.

Overfladerne klæbes sammen af kemiske bindinger. Når ”sammenklæbede” overflader skilles igen, sprænges bindingerne, og evt. asymmetriske bindinger, fx ionbindinger, har en tendens til at efterlade ladninger i ubalance. Afhængig af det materiale, der adskilles. Altid flest ladninger på det ene materiale.



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

Da de fleste materialer ikke er flade nok eller fleksible nok til at opnå ”stor-skala kontakt”, bliver de fleste materialer ikke særlig stærkt elektrificeret ved simpel berøring.

Hvis skind berører plastic, hjælper det betydeligt, hvis man gnider skindet mod plasten. Dette sker fordi der sker mange berøringer og separationer.

Fænomenet kaldes ”kontakt-opladning”, eller elektrificering ved kontakt. Kontakt-elektrificering, eller triboelektrificering.

Laver man en test af forskellige materialer, og grupperer dem efter hvilke, der bliver positive, og hvilke negative, kommer man frem til følgende liste, kaldet den triboelektriske serie:

Triboelektrisk serie:

<u>Luft</u> Hænder glas hår Nylon Uld Pels Bly Silke Aluminium papir Bomuld Stål Rav Nikkel, Kobber Messing, Sølv Polyester Polyurethan Polyethylen PVC, Vinyl Teflon	<u>Positive ende</u> <u>Afgiver elektroner</u> <u>Holder mindre godt på elektronerne</u> <u>Svagere elektronbindinger</u>
	Stærkere bindinger! Stjæler elektroner fra materiale højere oppe på listen. Holder bedre på elektroner. Negative ende

Det er vigtigt at bemærke, at serien kun gælder for rene og tørre materialer. Er der fx fedt, snavs eller olie tilstede, kan materialerne reagere anderledes !



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

Skemaet skal forstås således, at hvis to af nævnte materialer gnides mod hinanden, bliver det, der står nederst i listen, negativt, det øverste positivt. Det er altså en organisering af stoffer i forhold til deres evne til at holde på – eller at opgive / afgive deres elektroner.

Man kan ikke skabe ladninger. Ladninger findes bundet til atomer, men man kan flytte dem. Dette kan ske ved induktion, ad kemisk vej (i et batteri) eller ved kontakt / gnidning.

Elektrostatisk ladning er mest normalt ”skabt” ved kontakt og separation af to uens materialer.

Fx genereres statisk elektricitet når en person går på et gulv, fordi sko berører underlaget og fjernes igen. Eller hvis en IC glider i et hylster eller i en skuffe, fordi hylsterets / skuffens plastdel og ICens ben eller hus gentagne gange kommer i kontakt og separeres fra hylsterets overflade.

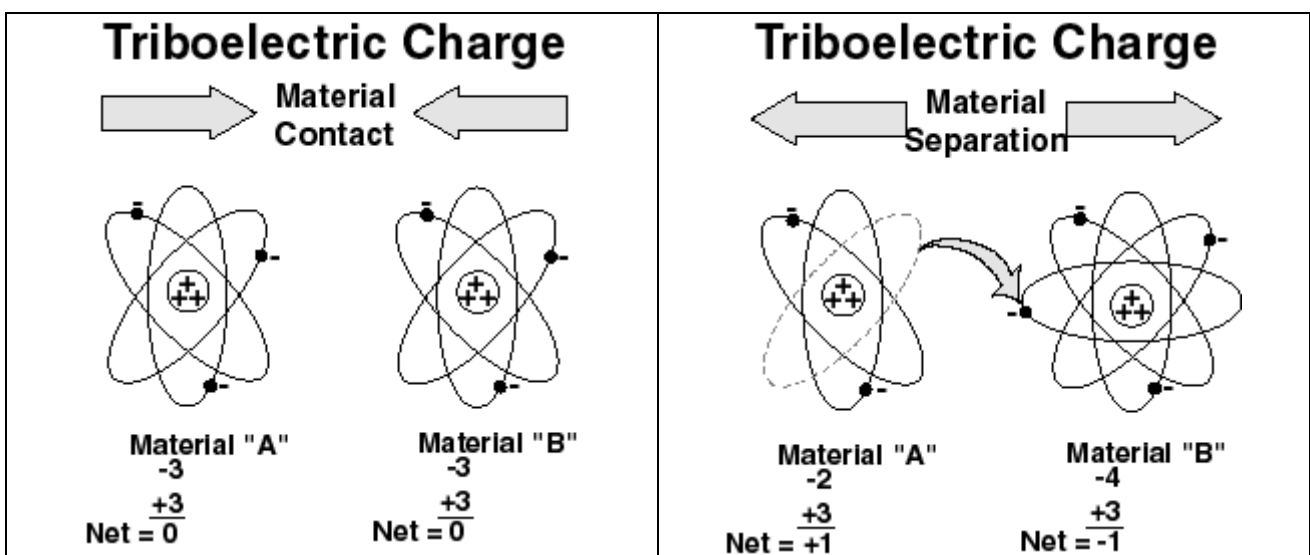
Selvom spændingens størrelse kan være forskellige i disse eksempler, genereres der statiske ladninger.

Men man ved ikke så meget om emnet. Fx er det sådan, at organisering af materialerne i den triboelektriske serie er anderledes ved gnidning end ved simpel kontakt. Og selv ’ens materialer kan skabe ladningsubalance, hvis den ene overflade er ru og den anden blød.

Det spiller uden tvivl også en rolle, at de fleste materialer ikke er rene, men en blanding af et materiale og et tilsætningsstof eller et stof, materialet er behandlet med.

Afstanden mellem materialerne på skemaet giver ikke basis for at udlede noget om størrelsen af den ladning, der flyttes ved berøring. Men nogle kilder påstår, der er størrelsessammenhæng !!! Der er mange faktorer udover forskellen i styrken i bindingerne i overfladen. Fx overflade-finishen, elektrisk ledsevne og mekaniske forhold influerer på resultatet ved evt. forsøg.

Følgende skitser belyser fænomenet:



Tegningerne viser hvad der sker, ved berøring og adskillelse af to materialer



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

Tribo betyder friktion !!



De spændinger, der kan opnås ved berøring, er vist i følgende skema:

Handling	Typiske elektrostatisk spænding [Volt]		
	Relativ fugt		
	10 %	40 %	55 %
Gang på tæppe	35.000	15.000	7.500
Gå på vinyl	12.000	5.000	3.000
Bevægelse ved arbejdsbord	6.000	800	400
Fjerne DIPs fra plast-rør	2.000	700	400
Fjerne IC DIP fra styropor skum	14.500	5.000	3.500
Fjerne boble plast fra printplader	26.000	11.000	5.500

Kilde: AT & ESD Control Handbook-1989

Hvis en person går på et uldtæppe, vil læderskoene have mindre holdekraft på elektroner end uldtæppet. Tæppet stjæler elektroner fra tæppet ved hver berøring. For hver trin, bliver skoene – og personen, hvis der er ledende forbindelse – mere og mere positivt opladet. Ladningerne fordeler sig over kroppen, idet kroppen jo er ledende. Personen opnår en spænding i forhold til andre personer eller genstande.

Når den positivt opladede person rører fx en anden person, en radiator, eller en metaldør, - (der har en anden spænding) – vil der modtages elektroner fra personen / genstanden. Elektronerne springer / løber fra genstanden til personen. Det er jo kun elektronerne, der er bevægelige ! Der sker en potentiale-udligning, så begge får samme spænding.

Som det ses i skemaet (triboelektriske serie), ville han – hvis han havde gummisko,- blive negativt opladet. Den gnist, der så ville springe ved berøring, ville gå den modsatte vej, men for personen ville der ikke kunne mærkes forskel.

Forsøg: Forbind en af terminalerne i den ene ende af et lysstofrør til en jordforbindelse. Hold om glasset mens man gnider skoene over fx et nylontæppe. Herved skulle man kunne se lys i røret !!

Plastomslag gnedet med hånden producerer op til 30 kV.

Rengøringspersonale slæber plastposer / affaldssække over et gulv → flere tusinde Volt.

ESD-sikker plast er tilsat kulstof.

Problemet med statisk elektricitet er ikke ladningsadskillelse, men den strøm, der løber, når ladningerne får lov at "løbe sammen" igen.

Vekselspænding

En vekselspænding er en spænding, der hele tiden skifter potentiale fra positiv til negativ i forhold til en referencespænding. Spændingsændringen sker normalt sinusformet.

I el-nettet har man valgt 50 Hz, dvs. 50 hele svingninger pr sekund. Spændingen ændres konstant fra 0 til +311 til 0 til -311 til 0 osv. Sinusformet. !!!



I starten på elektrificeringen brugte man jævnspænding, men med tiden ændrede man dette til vekselspænding. Dette fordi man med vekselspænding let kan transformere spændinger op eller ned.

Hvor strømmen skal transporteres over lange afstande, anvendes højspænding, fx 10 KV eller mere. Ved højere spænding er strømmens størrelse mindre, og der er mindre varmetab i kobberledningerne ved overførsel af samme energi. $A_e = U \cdot I \cdot t$ [Joule]. Er U større, kan I være mindre når t er ens, og samme energimængde A_e skal overføres.

Ved hjælp af Ohms lov kan effekt ligningen omskrives: $P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$

Det fremgår, at hvis I bliver mindre, vil den afsatte effekt i tråden $P = I^2 \cdot R$ blive meget mindre, idet I indgår i anden potens. R er kobbertrådens modstand, fx fra Ensted til Sønderborg og retur. Altså for sammen mængde energi, A_e er I mindre ved større spænding U.

Energi afsætningen i kobbertråden er: $A_e = I^2 \cdot R \cdot t$ [Joule]

Fremme ved forbrugeren, fx en gård, transformeres spændingen så ned igen til de 230 Volt. Dette gøres med en simpel transformator.

I vekselstrømskredsløb vrikker ladninger frem og tilbage med den frekvens, der påtrykkes. De bevæger sig ikke fremad kun i den ene retning. Men når de begynder at vrikke i den ende, der er tilsluttet generatoren, vil udbredelsen af vrikningen bevæge sig frem ad ledningen med næsten lysets hast.

Serie og parallel-forbindelser:

Strøm til et knudepunkt er lig den strøm, der forlader knudepunktet. Ligesom to floder, der løber sammen. Den mængde vand, der kommer fra de to floder, er lig den mængde, der løber væk.

I en serieforbindelse er strømmen ens. Løber en flod under to broer, er mængden af vand ens under de to broer.

Deler en flod sig i to floder om en Ø i floden, er summen af vandstrømmen i de to grene lig hele vandstrømmen.

Kondensator:

Sammenlign en kondensator med et vandtårn eller opladelig batteri.

Det tager tid at oplade en kondensator. På samme måde som det tager tid at fylde et vandkar eller vandtårn! – Med mindre man har en uendelig stor strøm til rådighed, og det har man ikke. Man kan godt oplade en kondensator meget hurtigt, men det tager tid, fx pico-sekunder.



Man kan forestille sig, at en pumpe pumper vand ind i vandtårnets bund. Der kan tegnes en graf af vandtårnets niveau som funktion af tiden, eller af vandtrykket i bunden. Hvis vandtrykket i bunden er det samme, som det, pumpen kan give, stiger niveauet ikke mere !

Der kan overvejes to typer pumper. En centrifugalpumpe, og en stempelpumpe, der hhv. giver konstant tryk, og konstant mængde pr sek. Ved en centrifugalpumpe aftager niveaustigningen, ved en stempelpumpe stiger niveauet retlinet.

Elektroner oplagret i en kondensator svarer til et lille batteri. Men som i et batteri er elektronerne ikke kemisk bundet, men blot oplagret.

For at oplade en kondensator, skal der tilføres elektroner, og kun de tilførte elektroner kan efterfølgende aflades / bruges. Mens de bruges, falder spændingen i kondensatoren. Oplades et batteri, bindes der energi i de kemiske stoffer i batteriet, og de kan så frigive energi igen idet der pumpes elektroner.

Spændingen i en opladt kondensator kan findes som $U = \frac{Q}{C} \left[\text{Volt} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{Farad}} \right]$ Altså jo flere ladninger, jo højere spænding.

Den ladningsmængde, der er i en kondensator, må være ligefrem afhængig af den strøm, der tilføres, og den tid, den tilføres. Der findes at: $Q = I \cdot t [A \cdot s]$

En konstant strøm til en kondensator kan sammenlignes med en stempelpumpe, der pumper vand ind i bunden af et vandtårn. En stempelpumpe giver fx 1 liter pr "slag" Dvs. at vandstanden vil stige retlinet.

Pumper man vand ind i samme vandtårn med en centrifugalpumpe, der giver konstant tryk ~ spænding, vil vandstanden stige, mest i starten, og så aftagende, indtil vandtrykket fra vandsøjlen i tårnet med tiden nærmer sig det tryk, centrifugalpumpen kan give. På tilsvarende måde findes en graf, der stiger men aftagende stigning, hvis man oplader en kondensator mod en spænding gennem en modstand. Kondensatorens slutspænding = asymptoten – er lig den påtrykte spænding. Man ser, at det på denne måde tager tid at oplade kondensatoren, og at tiden må være afhængig af kondensatorens størrelse, og af modstandens størrelse. Svarende til Vandtårnets grundflade, og rørets tykkelse.

Kondensatorens energiindhold er : $E_{\text{kondensator}} = \frac{1}{2} C \cdot U^2$ [Joule]

Når man lader en kondensator, tilfører man elektroner på den ene plade, og der forlader lige så mange fra den anden plade. Men antallet af ladninger i kondensatoren ændres ikke. Der er samme antal ladninger, opladt eller ikke. Elektronerne, med deres ladninger, er blot "taget fra den ene plade og ført over på den anden plade".

En opladt kondensator har mere energi end en afladt, men samme nettoladning. Samme antal +partikler og -partikler.

Ladningsforskellen kan måles med et voltmeter.



Umiddelbart ser det ud som om, der løber ladninger gennem kondensatoren. Nogle ladninger løber hen til den ene plade, mens andre forlader den anden plade og efterlader "huller".

Den oplagrede energi er gemt i adskillelsen af negative elektroner og positive kerner. Både kondensatorer og spoler opmagasinerer energi. Ingen gemmer ladninger. I kondensatorer er energien gemt i adskilte ladninger, eller i potentiel energi. Potentiel energi ~ spænding. En spole gemmer energi i form af ladninger i bevægelse, ~ kinetisk energi.

Man stopper ingen ladninger ind i en kondensator, når den oplades. Ej heller stopper man ladninger ind i en ringspole af superledende materiale når man giver den en opladning med elektromagnetisk energi.

Spole.

En spole er faktisk det modsatte af en kondensator. Men her er det sådan at man ikke pludselig eller momentant kan ændre strømmen. Dette svarer til, at man ikke momentant kan ændre en bils hastighed, uden at man har en uendelig stor kraft til rådighed. Dette gælder både for strømmens opvoksen – strømrejsning -, og ved strømfald, altså aftagende strøm i en spole ! - elektronerne i en spole har altså "inerti", ganske som en masse i bevægelse.

En bil kan ikke momentant bringes op i fart. Og en bil i bevægelse kan ikke momentant stoppes.

Bilen har et energiindhold $E = \frac{1}{2}mv^2$ [?] Energiindholdet i en strømførende spole: $E = \frac{1}{2}L \cdot I^2$ [?]

L er spolens selvinduktion i [Henry] [H] og er afhængig af spolens beskaffenhed, hvor stor magnetfelt, der skabes. I er strømmen.

I en spole er der altid en ohmsk modstand, der stammer fra kobbertråden. Dvs. at ved en given spænding, vil strømmen i en spole vokse op til en maksimal værdi, afhængig af trådens modstand, iflg. Ohms lov.

Var tråden uden modstand, dvs. superledende, ville en positiv spænding få strømmen til at stige. Blev spændingen efterfølgende = 0, ville strømmen blot fortsætte uden at blive større eller mindre. Bliver spændingen negativ, ville strømmen falde.

Tilsvarende, hvis en bil påtrykkes en kraft, og der ikke er nogen friktion (i fx hjul, lejer eller vindmodstand), ville en påtrykt kraft altid øge bilens hastighed, og hastigheden ville fortsætte med at stige, så længe, der påtrykkes en kraft. Fjernes kraften, fortsætter bilen blot med konstant hastighed. Påtrykkes en modsat kraft, ville bilens hastighed falde, men stadig køre i samme retning. Og bilen kan ikke stoppes momentant.

Afbrydes en strømførende spole, vil strømmen heller ikke kunne stoppes momentant. Energiindholdet ville ikke kunne forsvinde i den blå luft. Strømmen må fortsætte med at løbe, og spolen vil generere en så høj spænding, at strømmen fortsætter. Energien aflades enten i form af en gnist som det udnyttes i bilers tændrør, eller i den strømvej, strømmen nu tager.



Det er fx heller ikke muligt at sætte en magnetventil i et vandrørssystem til fx radiatorerne i et hus. Når ventilen lukker momentant, stopper vandstrømmen momentant, og de mange kg i bevægelse, der jo har et energi-indhold, vil med tiden rykke rørsystemet i stykker.

Spoler kræver kun energi for at skabe et magnetfelt. Men der kræves også energi for at overvinde elektrisk friktion (modstand) for at undgå, at ladningernes bevægelse sløves ned, når de flyder i ledningerne. Men kunne modstanden fjernes, fx ved at nedkøle spolen til -273 grader, kunne det magnetiske felt eksistere uendeligt uden energitilførsel. Dette kan fx ske hvis der bruges superledende materiale til ledningerne. Så vil en momentan opladning af energi skabe et magnetfelt i spolen, og både strømmen og magnetfeltet vil fortsætte evigt.

Vekselspænding:

En spænding er en elektrisk kraft som virker på elektroner. Og som sådan kan den vises med en vektor. Spændingens størrelse svarer til vektorens længde, polariteten til vektorens retning.

En vekselspænding er en spænding der hele tiden skifter retning og størrelse.

Ved at lade en vektor dreje rundt hele tiden kan man angive en vekselspænding ved en vektor. Her ved skifter den hele tiden retning, men ikke umiddelbart størrelse.

Det er vedtaget, at vektoren drejer venstre om !

Do kan kun lade sig gøre ved en sinusformet spænding.

1 omdrejning i 1 sek svarer til 1 Hz.

Spidsen eller længden af vektoren vil hele tiden angive spændingens max størrelse – eller spids-spænding. Retningen regnes i forhold til vandret og man kan forestille sig, at man stopper vektorens omdrejning, og herved få en spændings øjebliksværdi.

Kondensator ved vekselspænding.

Spole ved vekselspænding.

Svingningskreds.

Tegn et LC-led. Tag spændingen ud over kondensatoren. Sæt et step på indgangen (spolen) Overvej hvad der kommer ud. Indsvingning: Oscillationen har følgende frekvens:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

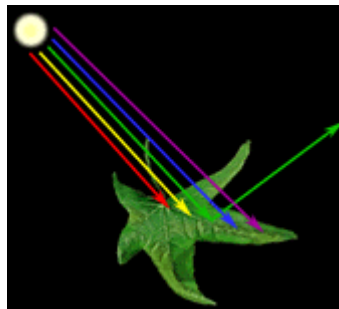
Passer det med teorien? Jo større kondensator, jo lavere frekvens, jo større spole, jo lavere frekvens ?



Lys:

Synligt lys har frekvenser mellem $4,3 \times 10^{14}$ Hz til $7,5 \times 10^{14}$ Hz, (rød til violet).

At en flade er synlig og har en farve, er fordi den tilbagekaster stråling af en bestemt frekvens, fx $4,3 \times 10^{14}$ Hz. Fladen er så rød. Alle andre frekvenser af den (lys) stråling, der rammer fladen absorberes i fladen og omsættes til varme. En flade, som tilbagekaster al stråling er hvid, og en flade som absorberer al stråling er sort. Dette udnyttes i solfangere.



Tager man fx en jerntråd og opvarmer den, kommer jernets molekyler og dermed dets atomer i voldsom bevægelse. Til sidst bliver bevægelsen så voldsom, at nogle af atomets elektroner bliver slået ud af deres baner, og vender tilbage igen. Får elektronerne tilført energi, hopper de fx ud i næste skal. Når de hopper tilbage igen frigives energien, de fik tilført, og denne energi kommer ud som stråling. Varmestråling, Infrarød stråling.

Ved kraftigere opvarmning kommer atomerne i endnu voldsommere bevægelse og strålingen bliver synlig. Jernet er rødgldende, og udsender varmt lys. Den temperatur, målt i Kelvin, jernet har opnået, er denne farves farvetemperatur. Den er ca 2000 grader K. Varmes jernet yderligere op, kommer elektronerne til at svinge på alle frekvenser inden for det synlige spektra, og jernet er hvidgldende med en kelvintemperatur på 6000 Grader K. Lyset føles koldt.

Jo højere farvetemperatur, desto koldere lys.

At en glødetråd udsender lys bygger på det faktum, at alle legemer med en temperatur større end det absolutte nulpunkt, - minus 273 grader – udsender stråling. Strålingen kaldes logisk set for termisk stråling. Intensiteten af den udsendte stråling ved en given bølgelængde er en funktion af legemets temperatur. Ved meget lave temperaturer udsendes meget lav-intensitets-stråling. Mest med lavere energi end synligt lys. Det synlige lys, der udsendes er af langt lavere intensitet, end det, der skal til for at vore øjne kan registrere det.

Ved højere stiger intensiteten af udstrålet synligt lys og anden stråling. Afhængig af stoffets fysiske forhold kan et legeme udstråle mere eller mindre synligt lys ved en given temperatur. Glødelamper bruger en tynd tråd af fx wolfram som ”termisk stråling udsendelses-legeme”. Når der løber strøm gennem den, varmes den hurtigt op til en meget høj temperatur og det udstråler en masse termisk stråling i det synlige spektrum. Tråden er indkapslet i en glaskolbe, der har en iltfri gasart (inaktiv). Ellers ville ilten reagere med den varme tråd, og den ville brænde i stykker.



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

Virkningsgraden i en glødelampe er ret lav. Kun ca. 4 % bliver til lys, resten af energien bliver til varme.

Farvetemperatur fra lysstofrør.
Farvegengivelses-evner.

Lysdioder (LED) (Light Emitting Diodes) udsender stråling i det synlige spekter, når der går strøm igennem dem.. Alle dioder udsender stråling. Alm germanium og siliciumdioder udsender stråling som varme IR-stråling, men lysdioder som synligt stråling med en bestemt, ret afgrænset farve / frekvens.

Laserdioder udsender næsten kun 1 frekvens. ! Fx laserpointer

Farven er afhængig af materialets energibånd, elektronskallernes afstand. Altså elektronernes frigivelse af energi ved deres energi-spring tilbage til banen, hvori de normalt hører hjemme.

Gallium-arsen-fosfor dioder (GaAsP) udsender rødt lys, Gallium-kulstof-dioder (GaC) udsender blå lys osv.

Derfor har det været svært at lave lysdioder der udsender hvidt lys. Nogle hvide dioder har været en blanding af Rød, Grøn og Blå, RGB ! som på et farveTV. Blandes disse farver fås hvidt lys.

Levetiden for lysdioder er ca. 100.000 timer. Glødelampers levetid er ca. ??? Man er begyndt at skifte glødelamperne i lyskurver ud med lysdioder.

Lysdioder tillader først strømgennemgang ved spændinger over ca. 1,6 Volt. Men forsøger man at sætte højere spænding på en lysdiode, vil strømmen gennem den blive meget stor. Derfor sætter man en formodstand foran til at begrænse strømmen til det ønskede. Lysdioder lyser fint ved fx 10 mA.

Spændingen over en lysdiode kan ikke blive højere end fx 1,6 Volt. Svarende til, at vandstanden foran et dige ikke kan blive højere end digets top.

Lysstofrør: Dårlig farvegengivelse.

Ra-værdier:

Lyskilde	Ra-værdi
Dagslys	100
Glødelampe	99
Lysstofrør	52 - 97
Natriumdamplampe	

Ra værdi under 70 regnes som dårlig farvegengivelse.

Farvegengivelse beror på en lyskildes spektrum. Er den kontinuerlig, som en glødelampes, er farvegengivelsen god. Herimod har udladningslamper som fx lysstofrør et spektrum, hvor nogle farver er mere dominerende end andre.



Lystekniske størrelser:

Kilde: Funk Amatør, FA 12/02 side 1247

Lystæthed	Lystætheden er et mål for sysstrømmen pr pladeenhed eller pr rumvinkelenhed. Måleenhed: Candela / m ² . cd/m ² . Eksempler: Soloverfladen: 1,5 x 10 ⁹ cd/m ² Glødelamper: 5 til 35E6 cd/m ² Lysstofrør: 0,3 til 1,5 E4 cd/m ² Nattehimmelen: ca. 10E-11 cd/m ²
Lysstyrke	Lysstyrken angiver retningsafhængigheden af lyset. Altså udstrålet lysstrøm i en bestemt rumvinkel, Ste = Steradian. Lysstyrken har kun mening, når man også kender den vinkel, der stråles ud i. Måleenhed: cd (Candela) 1 cd = 1 lm/sr Eksempler: Glødelampe, 100 W: 110 cd Standard LED: 1 til 300 mcd. Hvid LED: 2000 til 8000 mcd. Grøn LED: 16.000 mcd
Lysstrøm	Lysstrømmen udtrykker den samlede udstråling i alle retninger fra et lysende objekt. Kun stråling, der kan opfattes af det menneskelige øje medregnes. Måleenheden er lm (Lumen) Eksempler: 40 W lysstofrør: 750 til 3200 lm. 100 W glødepære: 1600 lm. Hvid LED ved 20 mA: 1,2 lm:
Belysningsstyrke	Belysningsstyrken er et mål for den lysstrøm, der falder på en flade pr m ² . Måleenhed: lx, Lux 1 lx = 1 lm / m ² Eksempler: Middagssol i det fri: max 100 000 lx Kontorarbejdsplads: 500 lx Klar fuldmånenat: 0,2 lx
Lysudbytte:	Lysudbytte er et mål for den effektive omformning af elektrisk energi til lysenergi. Måleenhed: lm/W, (Lumen / Watt) Eksempler: Lavtryks Natrium-damplampe: 200 lm/W Halogen glødelampe: indtil 35 lm/W Glødelampe: 10 til 20 lm/W LED, Grøn: Indtil 55 lm/W LED, gulgrøn: indtil 8 lm/W



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

	LED, Hvid: indtil 25 lm/W LED, Rød: indtil 42 lm/W LED Rød-orange: Indtil 53 lm/W LED BLÅ: indtil 10 lm/W
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Der findes gule LED typer, med over 40 000 mcd, men fordelt over kun 4 grader.

LED:

Levetid op til 100.000 timer.

Respond ≤ 100 ns. For kolde pærer er det ca 100 til 300 ms. Og i den periode er I op til 50 gange nominal.

LED's kan klare større strømme end nominal ved korte dutycycle. Dvs. man kan PWM, puls Width Modulere lysstyrken.

Uforward for blå LED ~ 4 V ± 10 %

Uforward for hvide $\sim 3,5$ V ± 10 %

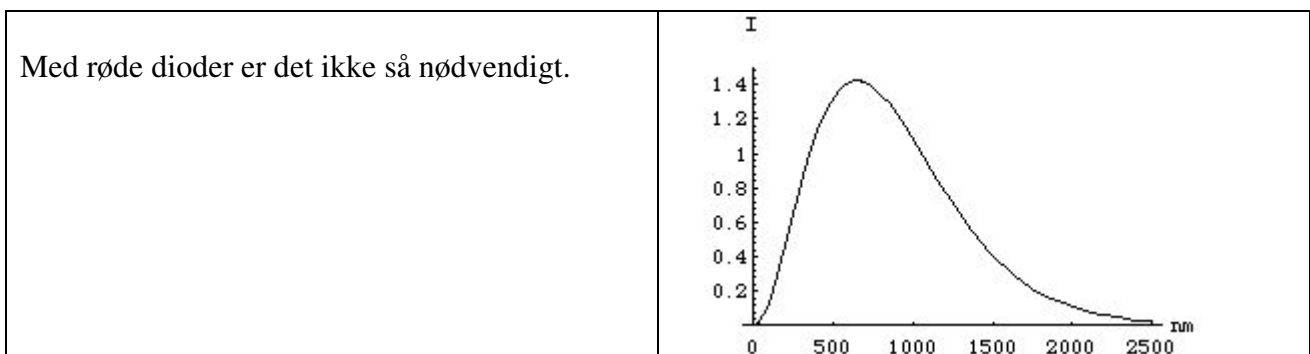
Ureverse max 5 V.

Der opereres med Beam-width begrebet. I hvilken vinkel udstråles lyset. Hvide har i dag op til 9.000 mcd (L5-W54S-BS)

Alm. glødepæres glødetråd holdes "kolde" ved udstråling af energi i IR-området.

Lyset udendørs er ca 10 til 20 KLUX

Gule/orange lysdioder, 580 nm, der skal sættes sammen i et display sorteres på bølgelængden. Der fås nogle, der kan lyse fuldt skrald 10 til 20.000 timer. De bruges mere og mere til displays, idet øjets følsomhed er størst her. Derfor er de nemmere at se. Men farven kører på grænsen mellem de gule og grønne receptorer i øjet, hvorfor det er vigtigt at dioderne er ens.

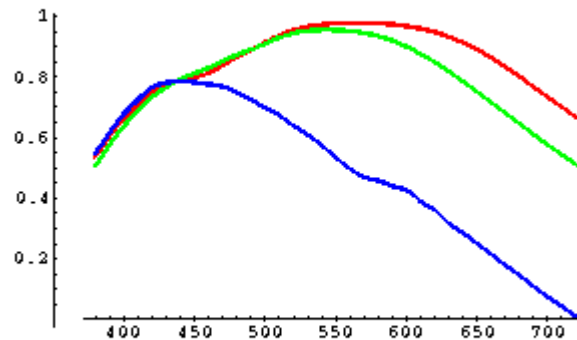


We call the 400 to 700 nm range of wavelengths "visible" because those are the wavelengths to which our eyes are sensitive. That range reflects the wavelengths of sunlight which reach the Earth's surface with sufficient intensity to excite the cells on our retinae.



Minus absorption by O₂, H₂O, etc., the "spectral distribution" (relative intensity as a function of wavelength) is a smooth curve with a peak at about 600 nm:

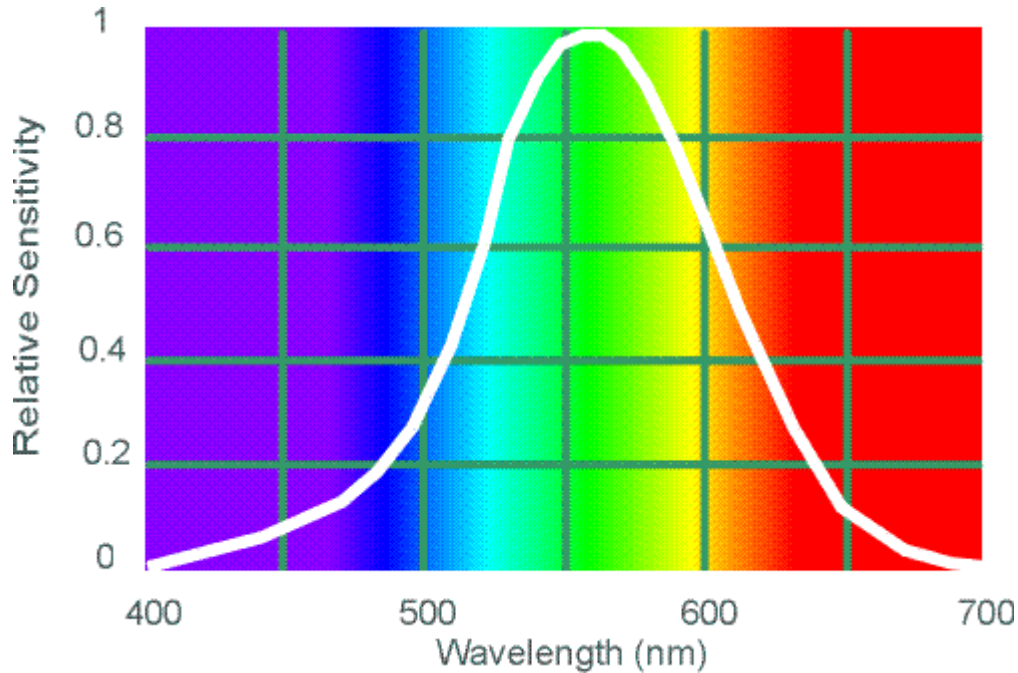
The cone cells of the human eye are sensitive to 3 wavelength ranges which the eye interprets as blue (narrow, with a peak near 419 nm), green (broader, with a peak near 531 nm) and red (also broad, with a peak near 558 nm, which is actually more like yellow!):



All of the colors which your mind perceives are constructed from combinations of relative intensities of these three "wavelengths": red, green and blue are the only "signals" your brain receives from your eyes.'

If 650 nm photons hit your retinae, your brain will receive a mixture of green and red signals, with more red than green but not too many of either. This will be interpreted as red. Similarly, 475 nm photons will cause about equal numbers of blue and green signals, with only a few red; this will be interpreted as a sort of bluish-green. The number of signals for any one of these ranges depends on both the intensity of the light and the sensitivity at that wavelength. This leads to a vaguely disturbing contrast between sensation and perception: **your eye sends only three kinds of signals to your brain, yet your brain "constructs" the full color spectrum of "reality" from them.** Now you can understand why people can have violent disagreements over what color something is: no two people see exactly the same thing, yet we assume that color is something objective. Since most of us have similar sensitivities we can agree on primary colors, so the garment industry has nothing to fear.

One of the key points in the last section is that photons can excite changes at the molecular level. That is, molecular bonds can absorb or emit photons while changing energy, just as atomic electrons do. This principle can be extended to wavelengths both above and below the visible spectrum:



This graph is an illustration of the relative photopic spectral sensitivity for human vision. You can see that humans are most sensitive at the middle wavelengths and their spectral sensitivity falls off towards the long and short wavelengths.

Color	Wavelength in nanometers
Violet	400-440
Blue	440-500
Green	500-570
Yellow	570-590
Orange	590-610
Red	610-700

Google, "Spectral Sensitivity of the Eye"

Elektronmodel

Vores normale model af et atom, altså den måde, vi forsøger at forstå et atom, består af en kerne med flere eller færre negativt ladede elektroner kredsende omkring.

Denne model bliver udvidet af den såkaldte kvantemodell. Denne beskriver elektronernes energispektrum. Ifølge kvantemodellen kan elektronerne kun optræde i bestemte energi-niveauer, eller bånd – eller skaller, i bestemte afstande fra kernen.

Skallerne eller båndene kaldes forskellige navne. Fx "Valensbånd" eller "Ledningsbånd". Metallernes yderste bånd kan også kaldes "ledningsbånd". Det er karakteristisk for metallerne, at de allerbedste ledere kun har en enkelt elektron, resten nogle få elektroner i den yderste skal, valensskallen. Disse elektroner er ikke særligt kraftigt knyttet til deres positive kerne. De kan betragtes som en



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

”elektrongas”, der nemt lader sig flytte af ydre kræfter, og kan vandre, hvis de påvirkes af et elektrisk felt, – Spænding. Isolatorer har derimod en fuldstændig besat yderste valensbånd, (og ledningsbåndet yderst er tomt.) Ledeevnen beror på bevægeligheden af de ” frie elektroner” i ledningsbåndet.

Afhængig af atomets opbygning har (metalliske) ledere forskellige ledeevner. Sølv leder bedst, derefter kommer kobber. Sølv og platin er dog for dyr, derfor bruges kobber.

Materiale	Kem. forkortelse	Atom nr.	Elektrontal i skal						
			K	L	M	N	O	P	Q
Sølv	Ag	47	2	8	18	18	1		
Platin	Pt	78	2	8	18	32	17	1	
Kobber	Cu	29	2	8	18	1			
Guld	Au	79	2	8	18	32	18	1	
Aluminium	Al	13	2	8	3				
Wolfram	W	74	2	8	18	32	12	2	
Zink	Zn	30	2	8	18	2			
Nikkel	Ni	28	2	8	16	2			
Jern	Fe	26	2	8	14	2			
Tin	Sn	50	2	8	18	18	4		
Bly	Pb	82	2	8	18	32	18	4	
Kviksølv	Hg	80	2	8	18	32	18	2	

En række metaller ordnet efter deres evne til at lede elektrisk strøm med mindst mulig energitab.

Elektronerne i yderste skal kaldes ”Valenselektroner”.

For stoffer, der er elektrisk ledende (fx metaller) er valensbåndet ikke fyldt helt op. Da valensbåndet og ledningsbåndet overlapper hinanden, skal der ikke ret stor energitilførsel til, for at bringe valenselektronerne i en energitilstand som frie elektroner. Påtrykker man nu en spænding, vil de frie elektroner vandre mod den positive pol.

For stoffer, der er isolatorer, er valensbåndet fyldt helt op med elektroner. Der skal en stor energitilførsel til for at bringe en af elektronerne op i det næsten tomme ledningsbånd.

Halvledere er en mellemtung mellem ledere og isolatorer. Valensbåndet er fyldt helt op med elektroner, men der skal kun tilføres mindre energi for at bringe en elektron op i ledningebåndet. Dette sker fordi energibåndgabet er meget lille. Energibåndgabet er afstanden mellem valensbåndet og ledningsbåndet. For silicium er denne 1,15 eV. Dette energibåndgab skal overvindes, for at lyset (fotoner) kan danne elektron – hulpar i en solcelle.

LYD

Normalt siger man, at mennesker kan høre frekvenser fra 20 Hz til ca. 18 KHz. Men det har vist sig at der ikke er nogen grænser nedad hvor hørelsen hører op. (fra 16 – 18 – 20 Hz.)



ELEKTRISKE GRUNDBEGREBER

Hvis man skruer tilstrækkeligt op for lavfrekvent lyd i en højttaler er det også muligt at høre lyd helt ned til et par Hz. (Kilde: Ing / Ålborg Universitet / 5/7-02)

Batteri	Elektronpumpe	
Spænding	Elektrontryk Vandtryk	
Strøm	Elektronflow Vandflow	
Modstand	Indsnævring på et rør Bremse på elektroner	
Kondensator	Vandtårn Lille opladeligt batteri	
Spole	Masse i bevægelse	
Diode		

Ref Fra www.amasci.com/~billb/miscon/eleca.html

1 Kg, som løftes 1 m kræver et arbejde på 9,81 [J].

Øvelse med Højttaler, Vise på et scoop, Sætte en generator på, høre og vise på et scoop

Overveje hvad der skal til for at bygge et samtaleapparat.

$I = f(t)$ graf, Stationær strøm, Varierende jævnstrøm, vekselstrøm

$I = f(U)$ fx ved 1 Kohm

$I = f(R)$ ved 1 Volt fx (Krum)

$U = f(R)$ fx ved 1 A