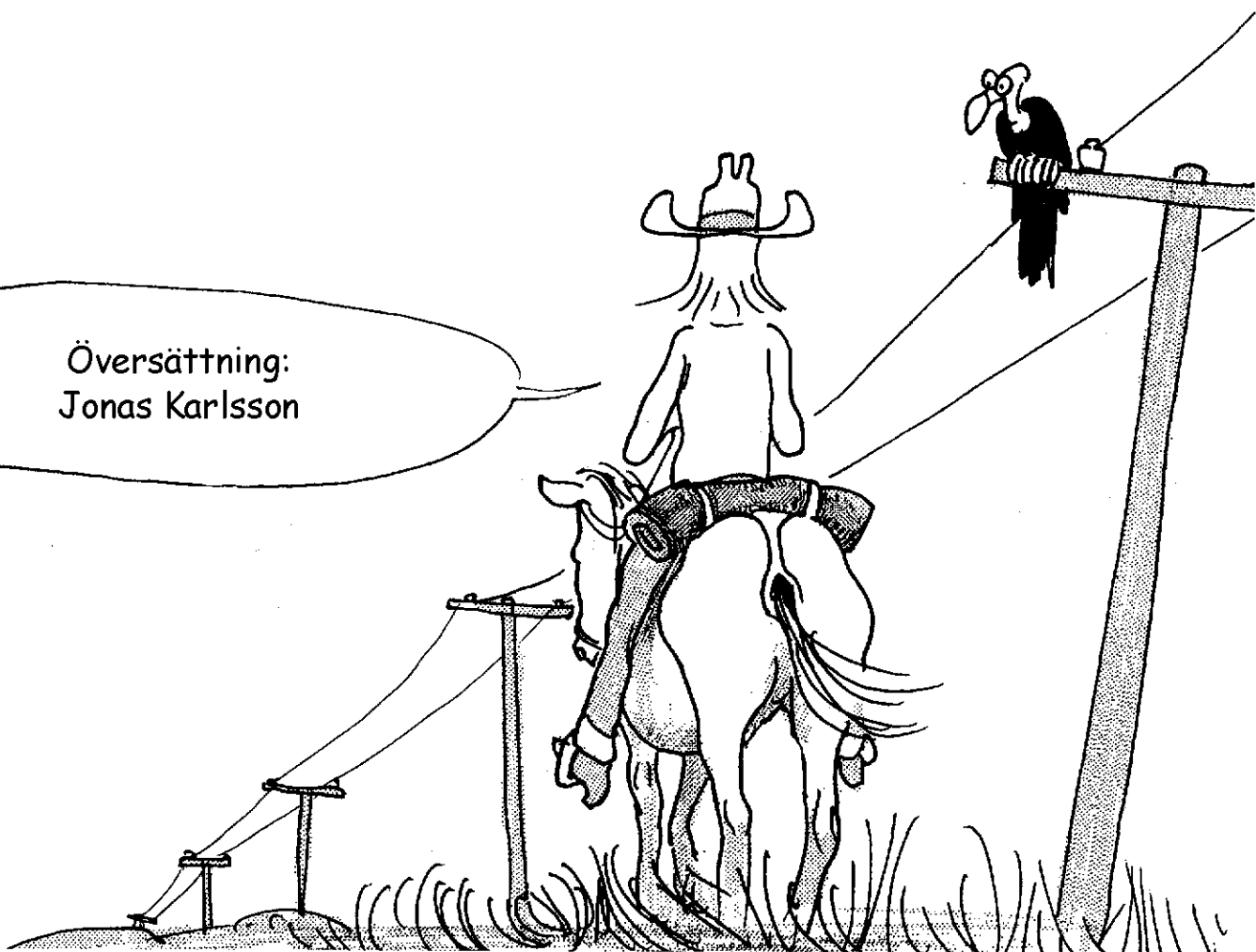


# FÖR EN HANDFULL AMPERE

Jean~Pierre Petit




Översättning:  
Jonas Karlsson



# PROLOG

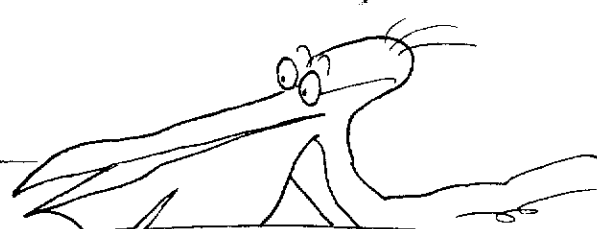


Det regnar,  
vi får stanna inne



Papper, sax, tråd... krefs!  
Vad kan vi göra med det?  
Inget!

Vad pratar du om,  
vädret är toppen!




Vi behöver ett riktigt  
laboratorium för att göra något  
intressant. En cyklotron...  
en laser?



Vad gnäller du för?  
Vi har allt vi behöver!

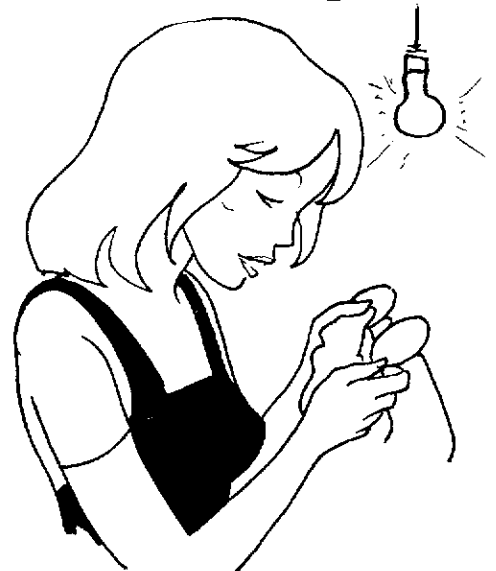
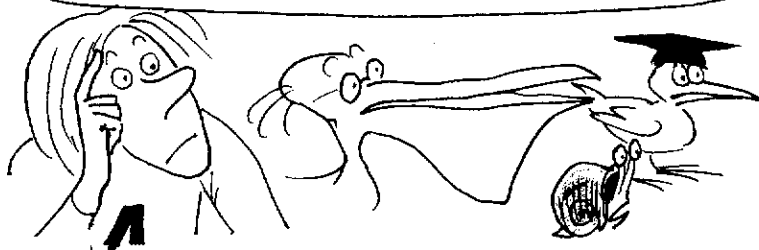
Försök inte inbilla mig  
att vi kan undersöka riktiga  
vetenskapliga problem  
här hemma!

Rutherford (\*) sade att han skulle  
kunna forska på nordpolen.



Ja, men  
vad kan vi uträtta  
här?

Ni är för roliga.  
Ingen av er kan ens förklara hur  
en vanlig glödlampa funkar.



(\*) Nyzeeländsk fysiker, upptäckte atomkärnan 1905.

Ingen panik nu.  
Glödtråden blir varm för  
att en **ELEKTRISK STRÖM**  
flyter genom den.

Vad är  
elektrisk ström  
nu igen?

Nollar!  
Nollar är vad  
ni är!

Hmm, det börjar  
bli krångligt

Varför blir glödtråden varm?

# STRÖMSTYRKA

Låt se. Jag tror att  
en hydraulisk analogi  
kan vara till hjälp.

En saftmaja,  
en flödesmätare...

Jag trodde  
att vi pratade om  
elektricitet?

En barnlek. Höjdskillnaden  
 $h$  motsvarar **POTENTIAL-  
SKILLNADEN**

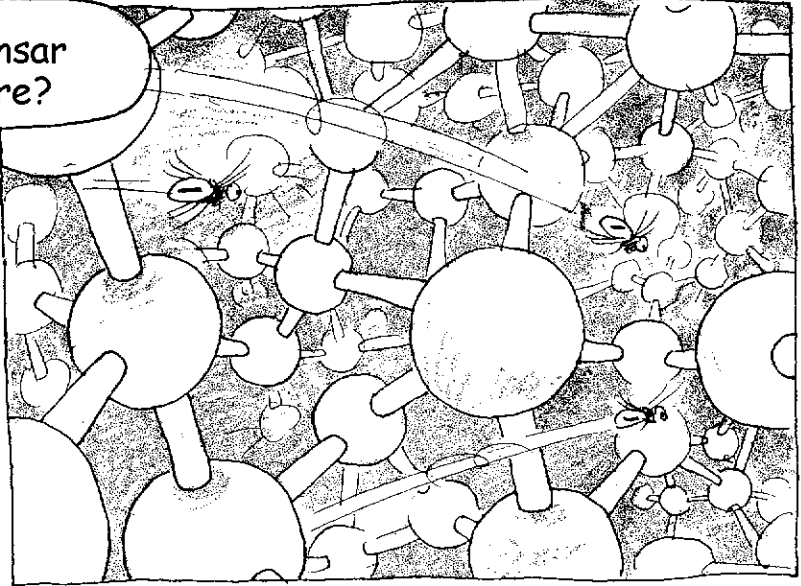
Röret motsvarar  
**MOTSTÅNDET**.  
Om det har längd  $L$  och  
tvärsnittaren  $S$ , är flödet  
proportionellt mot  $hS/L$ .

Om vi dubblar  
rörets längd,  
halveras flödet

# MOTSTÅND

Sophie, vilket slags friktion begränsar elektronernas hastighet i en ledare?

En koppartråd är inte ett tomt rör.



I en metall sitter atomerna fast i ett slags nätverk. Fria elektroner existerar vid varje temperatur och kan röra sig i nätverket. När de kolliderar med atomerna hindras deras rörelse och ett **ELEKTRISKT MOTSTÅND** uppstår.

Men varför blir metallen varm?



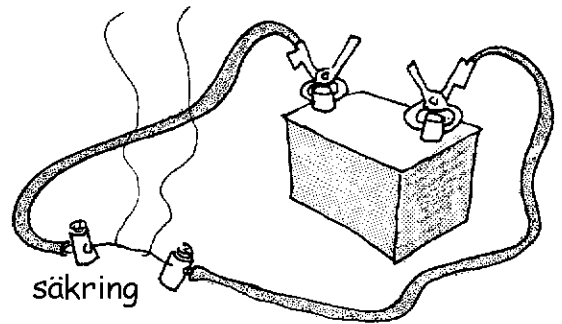
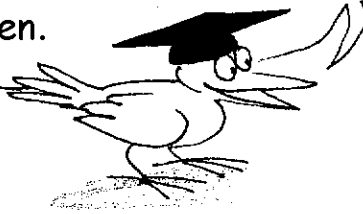
Kollisionerna får atomerna att vibrera och vibrationerna sprids från en atom till en annan, vilket är **VÄRMELEDNING**.

Visst ja, det är vad som kallas **JOULES LAG**.

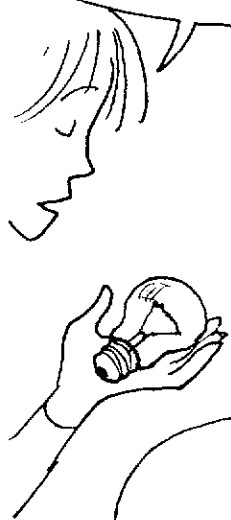
Nu klarnar det.

Men det förklarar inte varför tråden avger ljus...

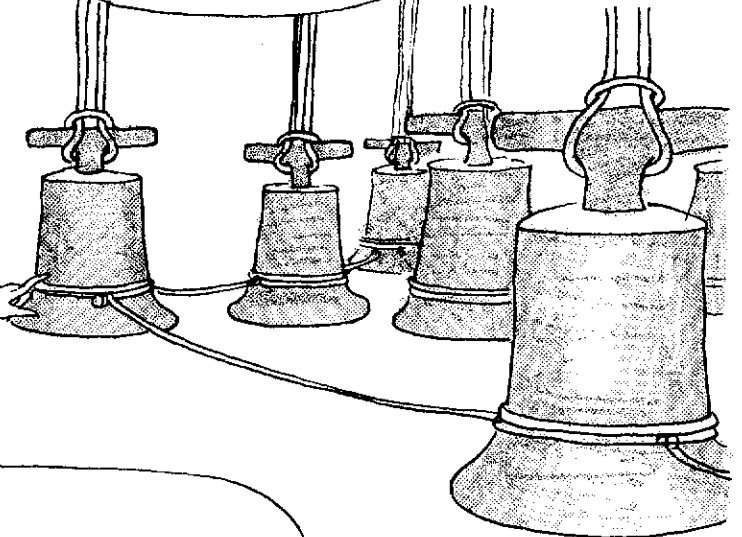
Skakningarna kan till och med förstöra metallens struktur.  
Då smälter den.



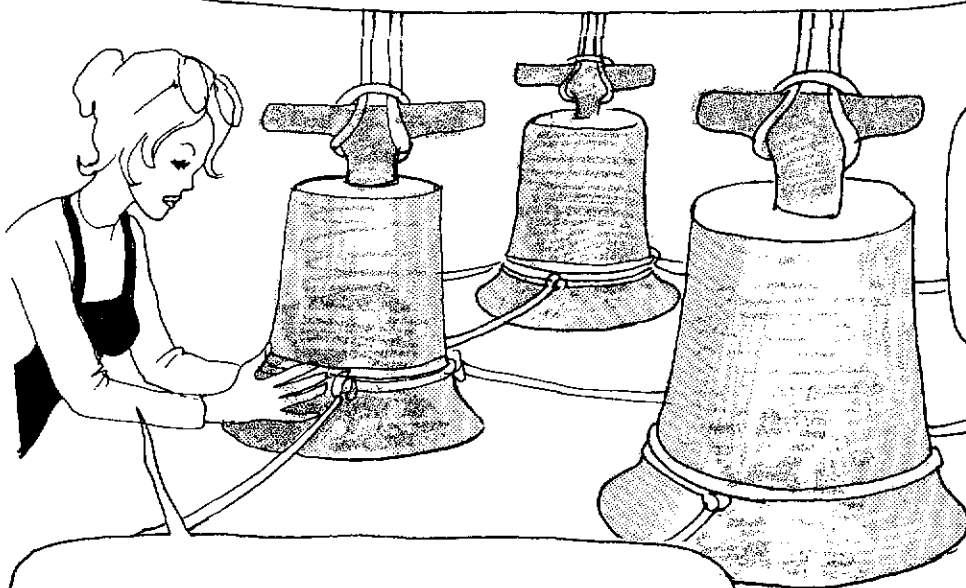
Så var kommer ljuset ifrån?



Ha, den gick



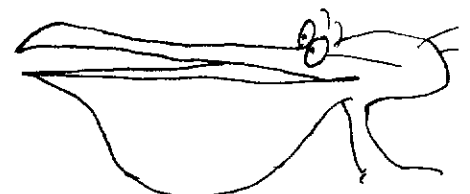
Föreställ dig nu atomerna som klockor,  
förbundna med elastiska rep.



Det är  
en bra bild av  
värmeledning i  
en fast kropp!



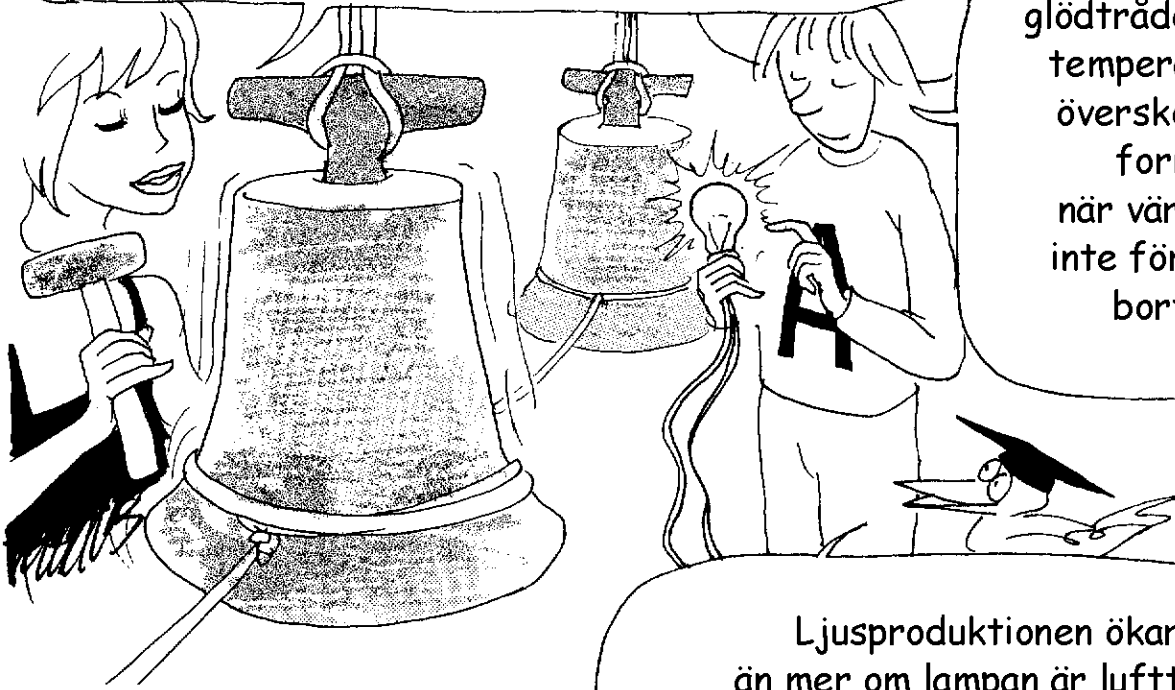
Om du ger en av "atomklockorna"  
en försiktig stöt kommer impulsen  
att spridas genom hela nätverket  
genom repen.



# GLÖD

Men om stöten är häftigare eller om flera stötar sammanverkar, kommer klockan att avge **ENERGI** i form av ljudvågor.

Förstått. På samma sätt kommer atomerna i glödtråden över en viss temperatur att avge överskottsenergin i form av ljus, när värmeledningen inte förmår att leda bort energin.



Ljusproduktionen ökar än mer om lampan är lufttom, så att värmeledningen minskar.

Ju högre temperatur, desto mer ljus. För glödtrådar använder man metaller som wolfram, som kan motstå temperaturer på upp till  $3000^{\circ}\text{C}$  utan att smälta.

Jag förstår varför upphettade kroppar avger energi, men varför blir **JÄRNET** rött?



För att dess temperatur är lägre än glödtrådens. Det här strykJärnet avger också strålning.

Stick huvudet i en gryta med krombotten. Du kan känna att strålningen reflekteras. (\*)

Minsann, det känns.

Du strålar också.

Är jag också strålände?

Min käre Tirésias, du är kallblodig, jag tvivlar på att du har mycket utstrålning.

I själva verket upphör atomerna i en kropp bara att vibrera och avge energi när temperaturen nått **ABSOLUTA NOLLPUNKTEN**, vilket är lägsta möjliga energinivå.

(\*) Denna typ av osynlig strålning som avges av svala eller mellanvarma kroppar, kallas **INFRARÖD** strålning.



Jaha, nu när vi vet allt om glödlampan har vi väl uttömt vår enkla bonings mysterier.



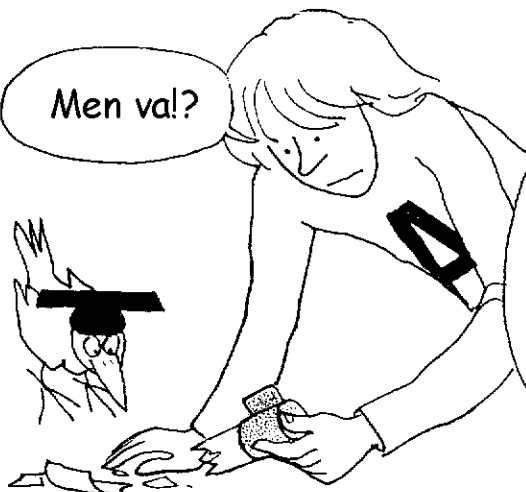
Anselm, lysröret i köket har gått.  
Kan du byta det?

# LYSRÖR



Attans!

Men va!?



Det är ingen glödtråd i lysröret!



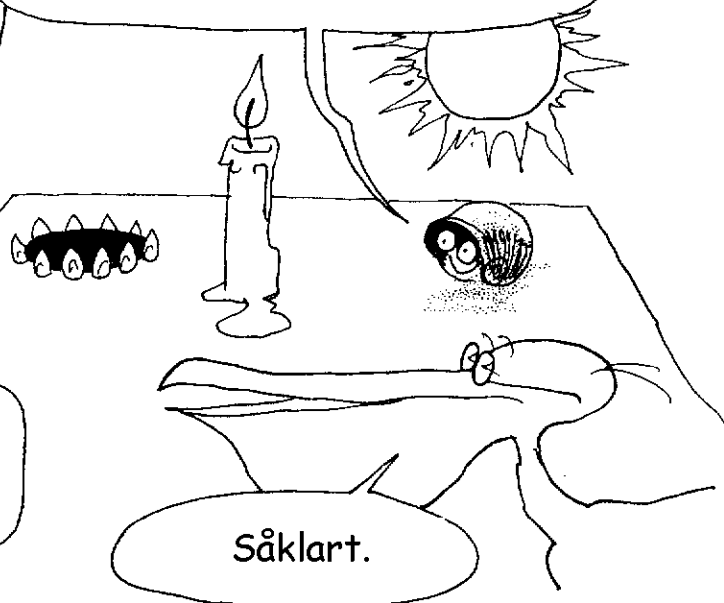
Behövs inte!

Neonatomerna i röret avger energin de får från strömmen av elektroner genom röret.

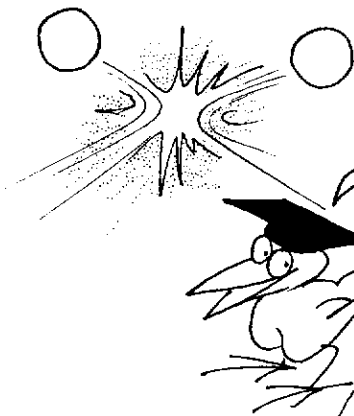
Såklart, hur tror du att gasspisen, solen och elden funkar?



Kan gas avge ljus?



Såklart.

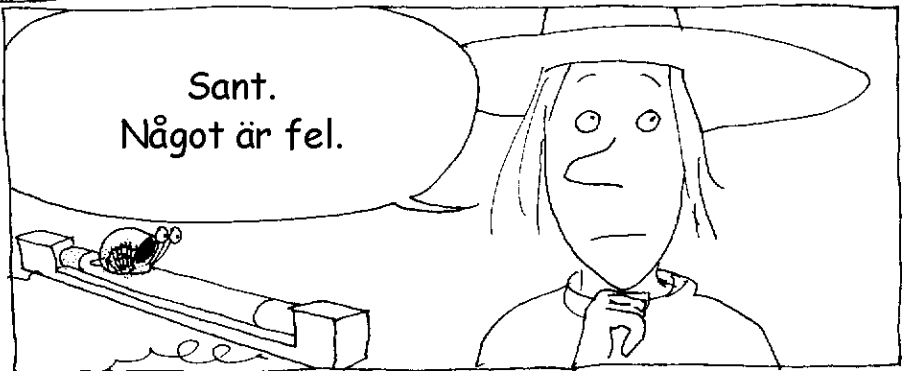
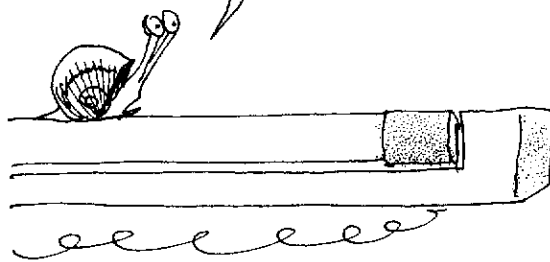


I en upphettad gas är det kollisionerna mellan molekyler orsakad av termisk rörelse som ger upphov till ljusutsändning.

Hur svårt kan det vara? Vi lägger på spänning, en ström flyter, gasen värms upp och avger ljus.



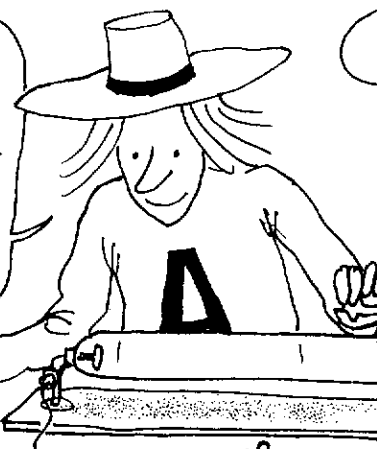
Det är bara ett problem, Anselm: gasen i lysröret är kall även när det är igång.



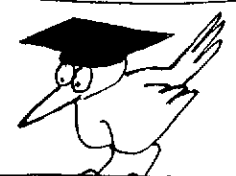
Sant. Något är fel.

# ELEKTRISK KONDUKTIVITET

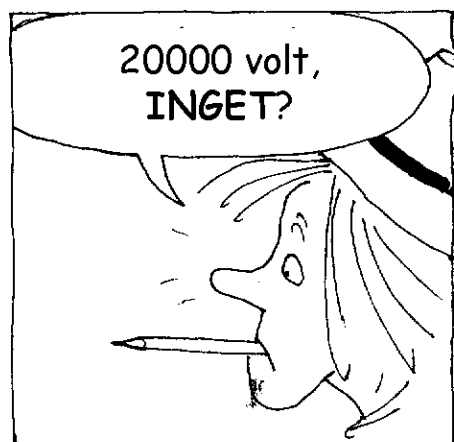
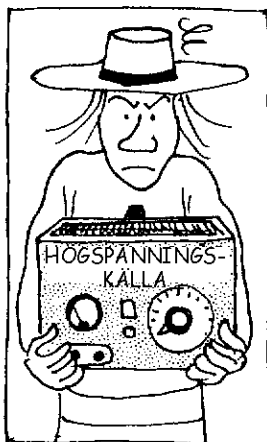
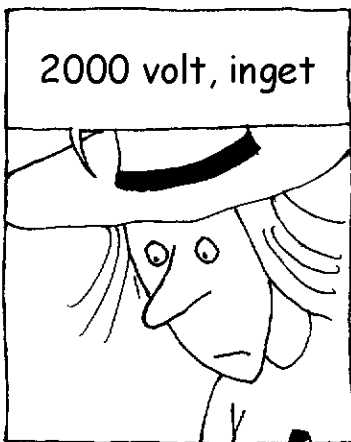
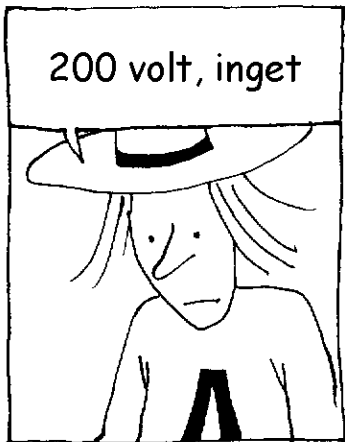
Dags för ett experiment. Jag fyller ett rör med neon, sätter en elektrod i var ände och kopplar dem till en strömkälla.



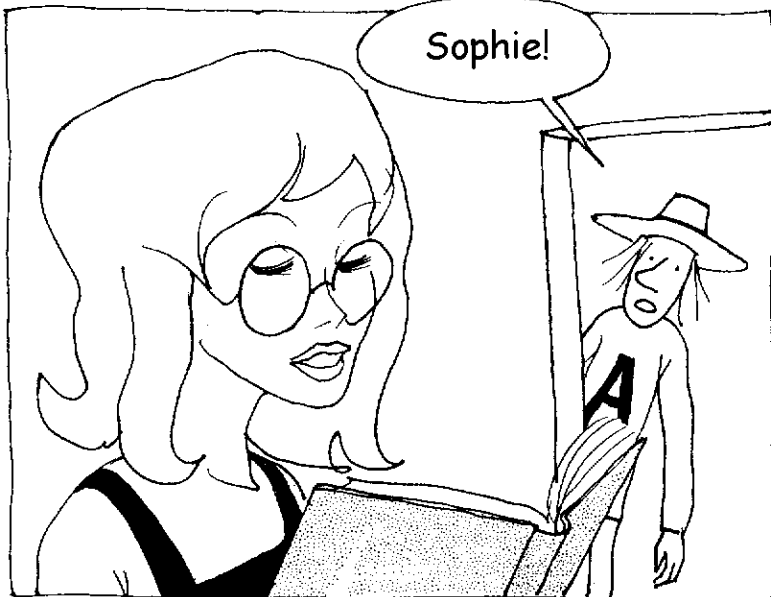
Jag älskar experiment.



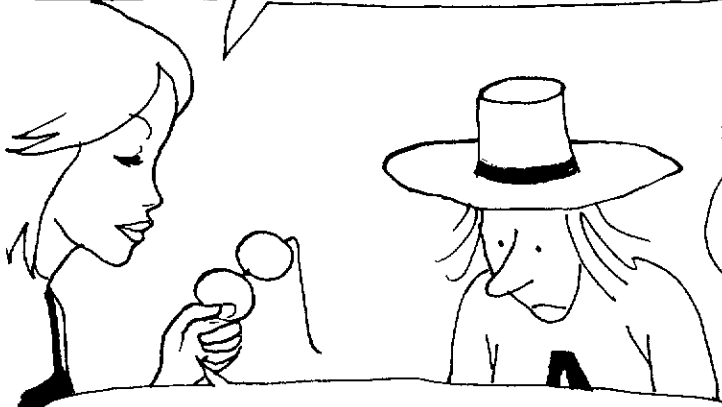
Du har neon under atmosfäriskt tryck.



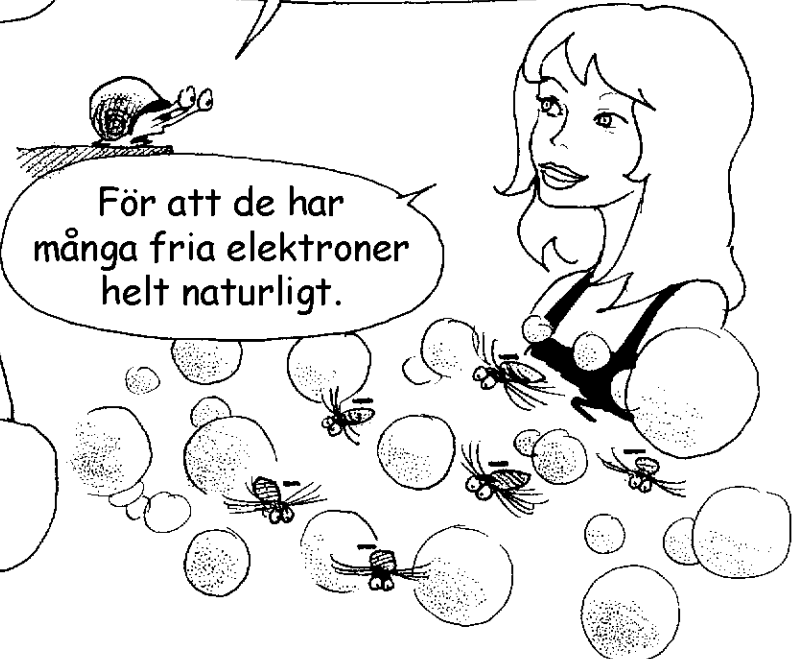
Men röret i köket drar bara en ampere och 220 volt



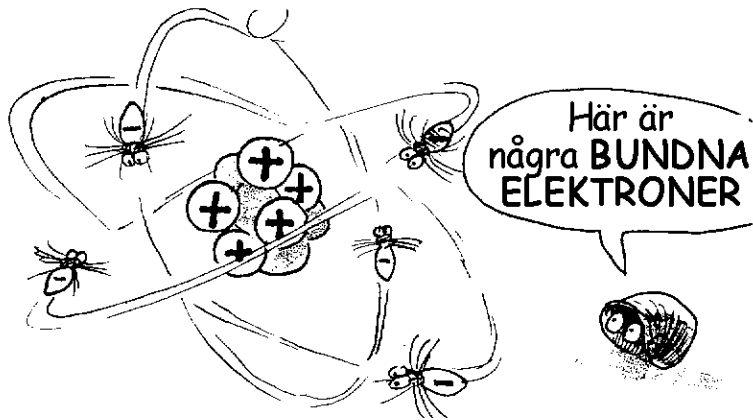
I en LEDARE är det fria elektroner som gör att ström kan flyta.



Och varför leder metaller ström?



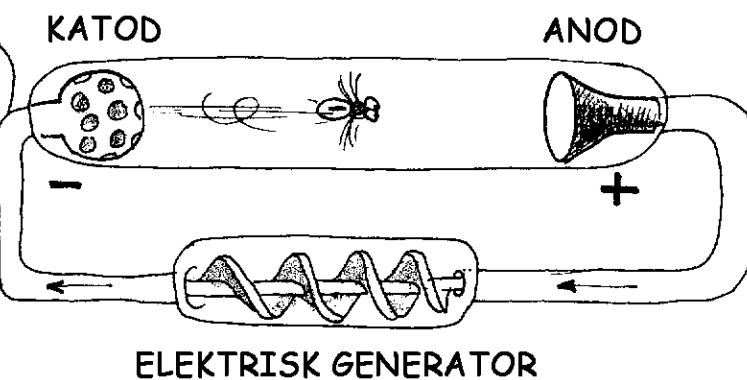
Menar du att kalla gaser inte innehåller elektroner?



Nej, men de är bundna i atomer, och kretsar kring atomkärnorna.

Vad får elektronerna att röra sig?

Rörelsen åstadkoms av en **GENERATOR**, som är som ett slags pump.



Så vad är problemet?

Toppen, det funkar

Maka på dig, Tirésias

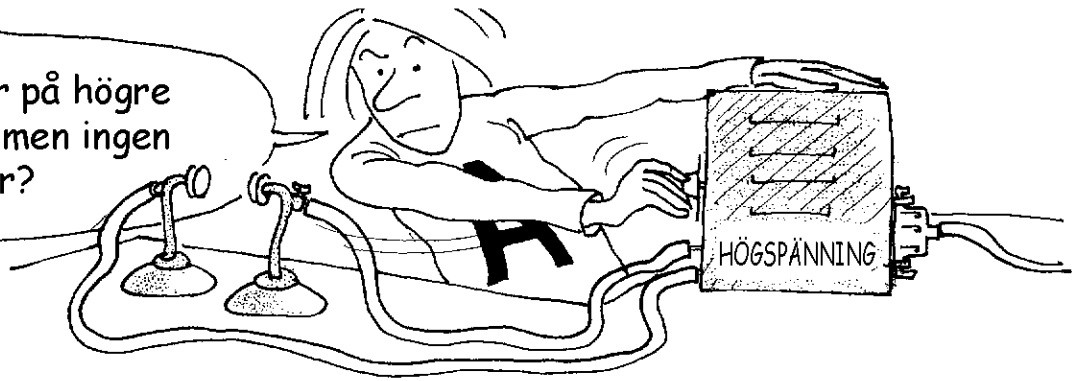
Aj!

Anselm har hittat en **ELEKTRONPUMP**

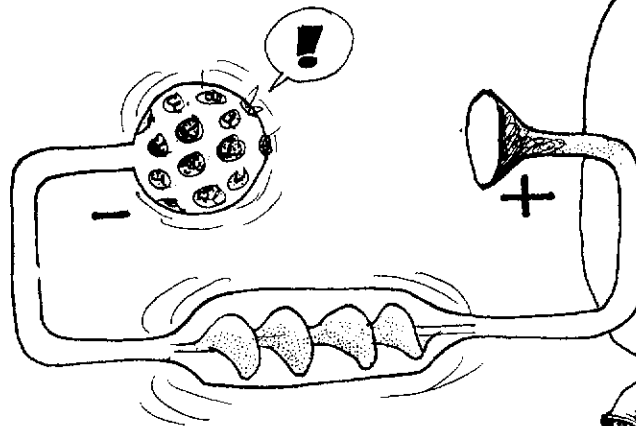
En högspänningsgenerator

# LJUSBÅGEN

Konstigt. Jag lägger på högre och högre spänning men ingen ström flyter?

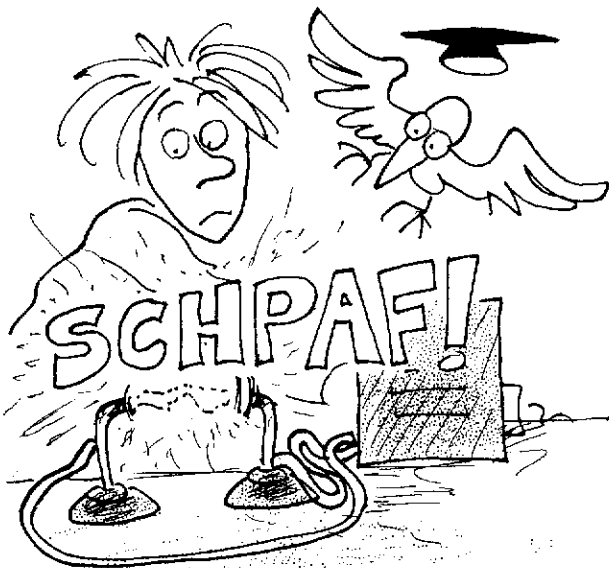
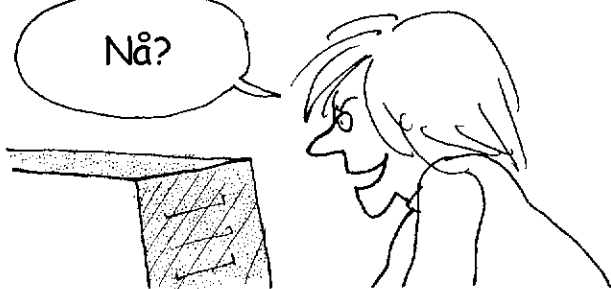


Tjugotusen volt ...  
trettiotusen...



Genom att öka spänningen, ökar Anselm det "elektriska trycket" i katoden

Nå?



Kan någon berätta vad som hände?

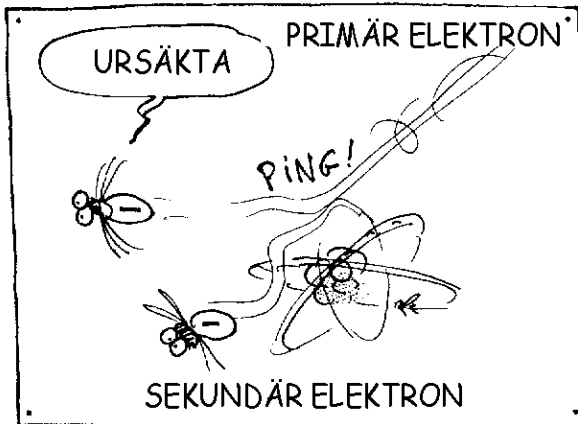
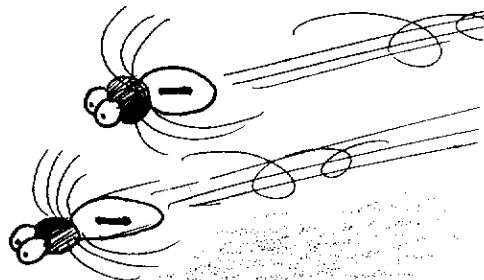


Allt väl?

Fritt fram, det är över

# ELEKTRONLAVINEN

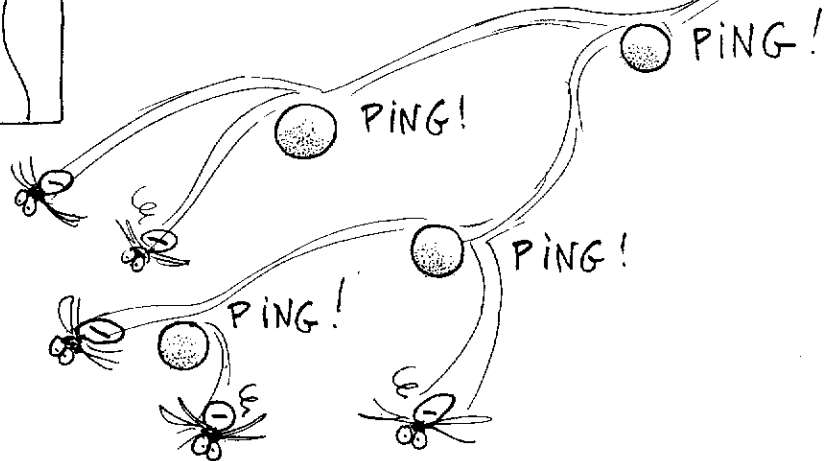
En elektrisk generator skapar en **ELEKTROMOTORISK KRAFT** som i sin tur sätter fria elektroner i rörelse. Även vid normal temperatur finns ett fåtal fria elektroner i gasen. Dessa så kallade "primära elektroner" kolliderar med gasatomer och slår ut fler fria elektroner.



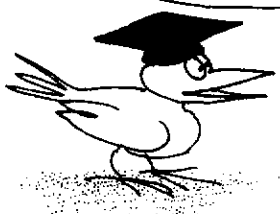
Varje elektron som knuffas ut ur en atom blir en fri elektron som nu börjar accelerera.

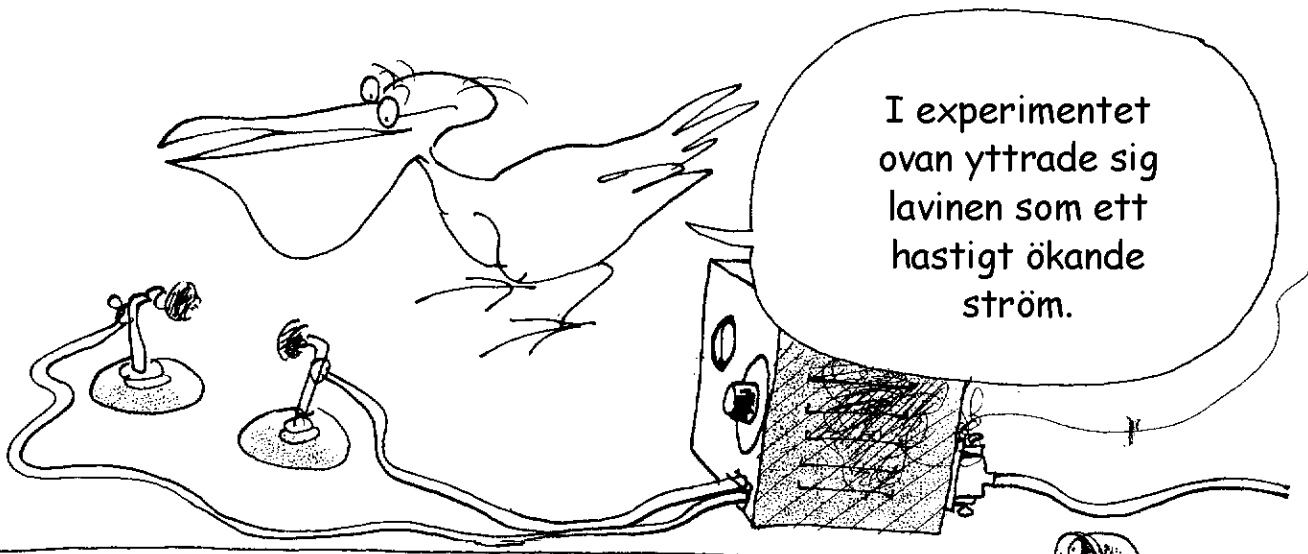


Varje primär elektron ger på så sätt upphov till många sekundära elektroner.



Det kallar jag en **ELEKTRONLAVIN**

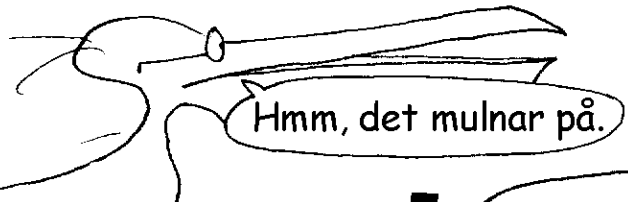




I experimentet ovan yttrade sig lavinen som ett hastigt ökande ström.

Gasen mellan elektroderna hade med andra ord blivit ledande. **Generatorn KORTSLÖTS.**

Ett sådant **GENOMSLAG** inträffar, vid atmosfäriskt tryck, när det elektriska fältet når 30000 volt per centimeter.



Hmm, det mulnar på.

# BOOM!

**BLIXTEN** är en elektrisk båge som uppstår när potentialskillnaden mellan molnet och marken blir tillräckligt stor.



Men hur uppstår dundret?



Den elektriska urladdningen avger mycket värme, vilket skapar en **CHOCKVÅG**.

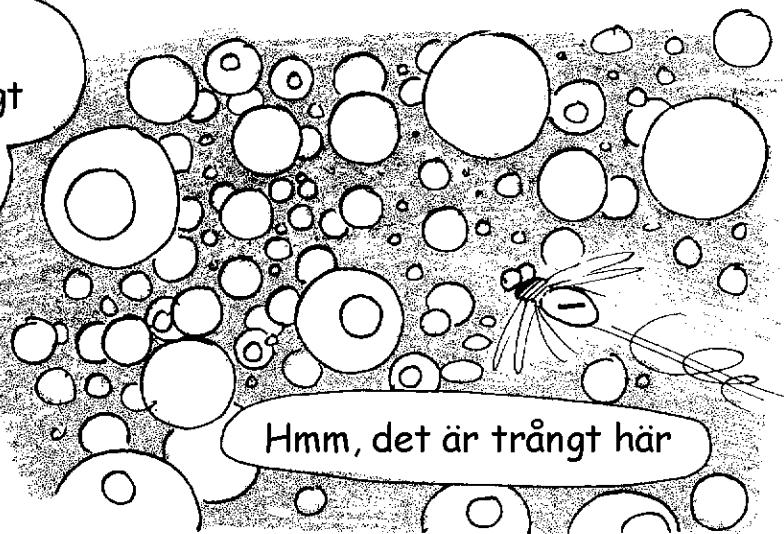


Men det besvarar inte min fråga: varför kan en ström flyta genom lysröret i köket?

Mysteriet kvarstår!

# MEDELFRI VÄG

Få se. Elektronlavinen utlöses när elektronerna hinner få tillräckligt hög energi mellan kollisionerna med atomerna.



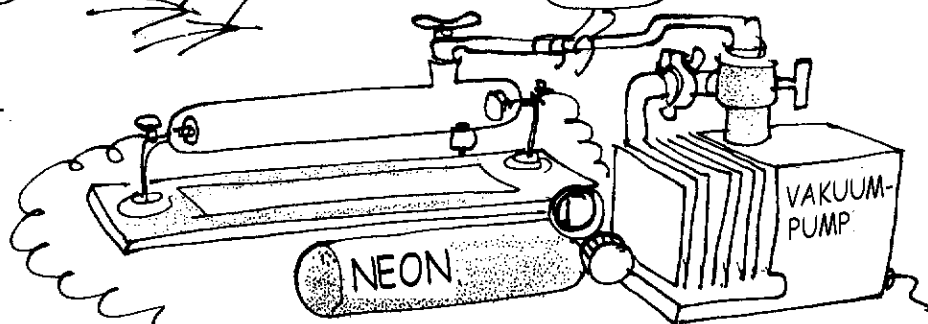
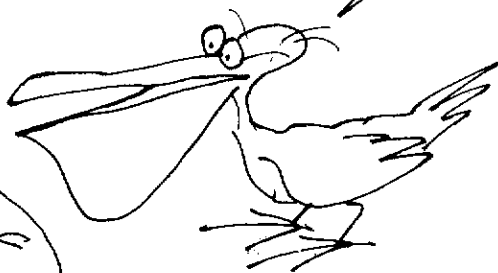
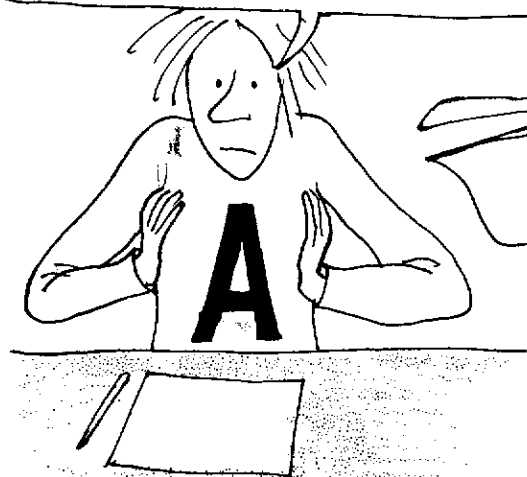
Vi talar om den MEDELFRIA VÄGEN

Om vi ökar den medelfria vägen, kan elektronen accelerera längre och få en högre rörelseenergi.

Men hur ökar man den?

Enkelt... minska gasens densitet.

Med den här vakuumpumpen.



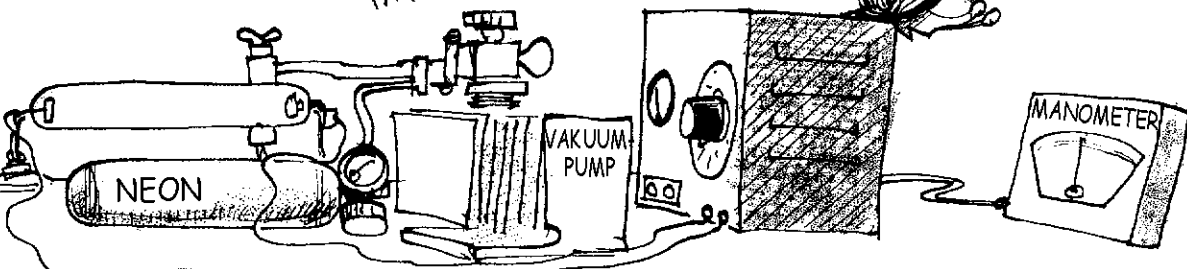


Jag lägger på 200 volt  
och pumpar.



PATTAFLOPP  
PATTAFLOPP  
PATTAFLOPP

Trycket sjunker

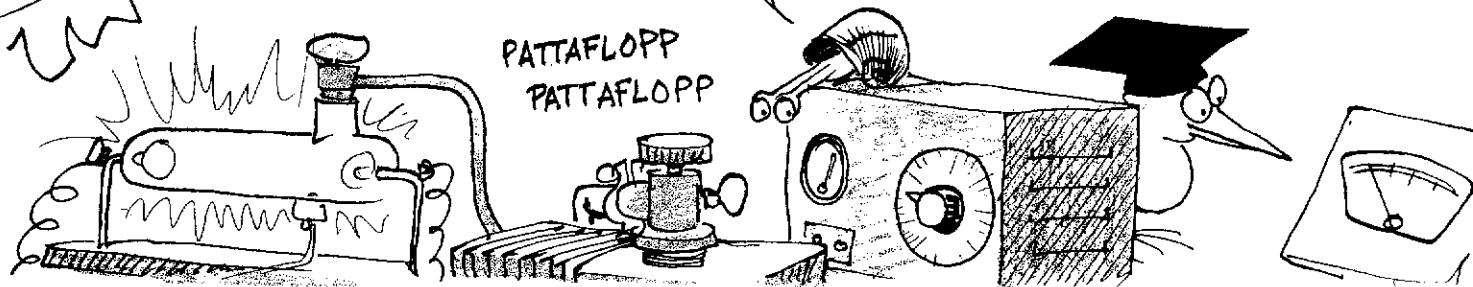


Hurra!

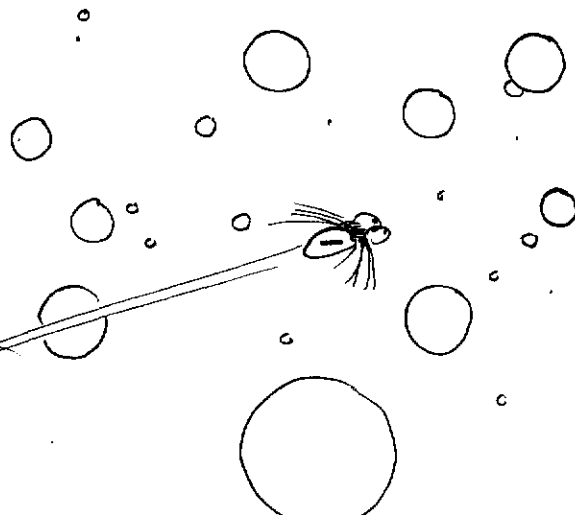
Sophie, röret tänds!

Strömmen flyter.

Trycket är nere på  
en tiotusendels  
atmosfär.



Under så lågt tryck och med  
så låg densitet är tvåhundra-femtio volt  
per centimeter tillräckligt för att  
utlösa en elektronlavin.



# JONISERING REKOMBINATION

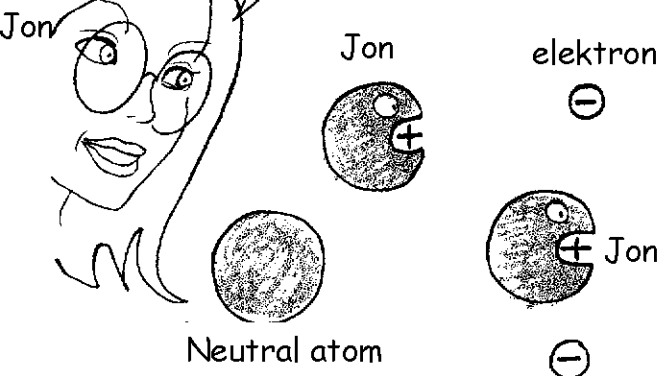
I den här "lavinen" du beskriver, ökar antalet fria elektroner. Men... om processen fortsätter, finns det till slut inga fler bundna elektroner, väl?

Du förstår, Léon, när en elektron slås ut från en atom, blir atomen positivt laddad. En sådan atom kallas för en JON.

Till slut är alla atomer joniserade.

Nej.

Men... motsatta laddningar attraherar varandra, ju?



Just precis. Elektroner återvänder kontinuerligt till jonerna, och neutraliserar dem. Detta kallas **REKOMBINATION**.

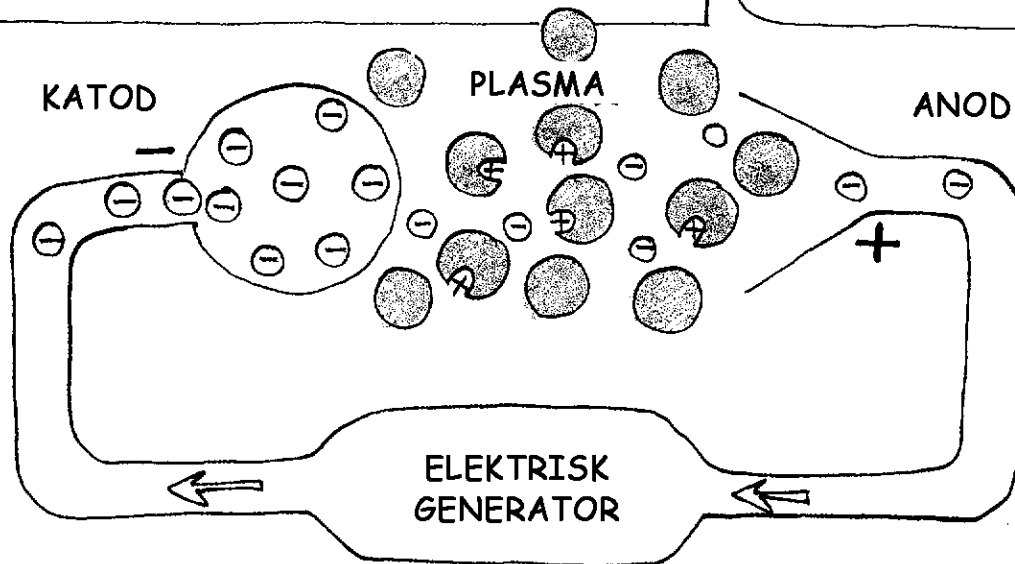
Den samtidiga produktionen av fria elektroner och joner är **JONISERING**.

Vid rekombination avges energi i form av strålning, som bidrar till avgivandet av ljus.

# PLASMA

Sammanfattning: ett slags elektronpump, elektrisk generator kallad, laddar **KATODEN** med elektroner. Det elektriska fältet påverkar elektronerna, accelererar dem och skapar fler fria elektroner genom lavineffekten. När **JONISERING** och **REKOMBINATION** balanserar varandra innehåller röret en blandning av joner, elektroner och atomer som kallas **PLASMA**, vars nettoladdning är noll.

En ström flyter:  
elektroner avges från katoden  
och fångas upp av anoden.



Otroligt! Så när jag slår på ett lysrör,  
skapar jag **PLASMA**.

Tänk vad man  
kan hitta hemma.

Plasma!?

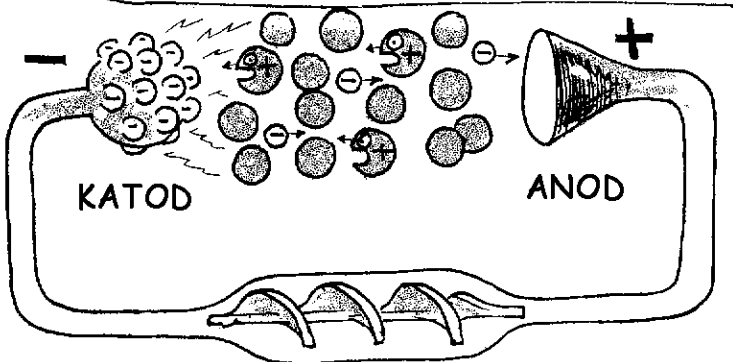
Ett påslaget lysrör innehåller plasma. Max säger att solen också är plasma, ett enormt klot av joniserad gas. Men varför är solen varm, när lysröret är kallt?

I en "kall" plasma hålls joniseringen igång av kollisioner mellan elektroner och atomer, men i solen hålls den igång av kollisioner mellan atomer. Då måste atomerna ha stor rörelseenergi, så gasen måste vara het.

I lysröret har vi **ICKETERMISK JONISERING**

Plasman innehåller två sorters laddade partiklar, elektroner och joner. Det elektriska fältet borde påverka dem båda, eller hur?

Visst. Fältet som drar elektronerna i en riktning, drar de positiva jonerna i motsatt riktning.



Fältet upprätthålls av katodens överskott och anodens underskott på elektroner, som skapas av spänningskällans "tryck".

Kollisioner med neutrala atomer saktar ner laddningarna. Bara elektronerna, som är lätta och rörliga, kan ta sig fram genom mediet.

Vilket betyder att i ett lysrör är **JONSTRÖMMEN** försumbar jämfört med den **ELEKTRONISKA STRÖMMEN**

# KATODSTRÅLNING

Vad händer om jag sänker trycket tills **VAKUUM** uppstår?

Ljuset blir svagare...

....intensiteten avtar

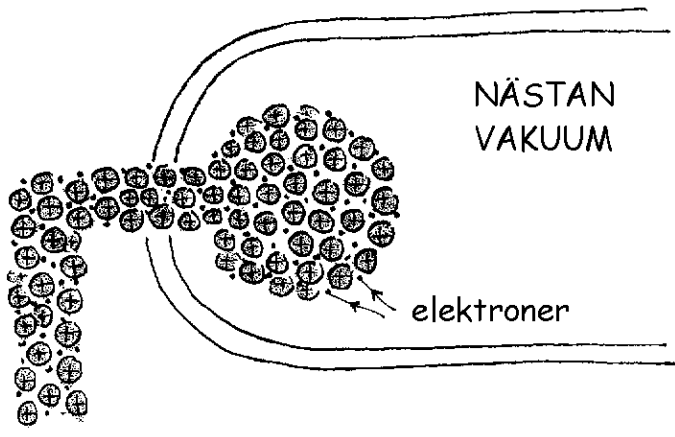
PATTAFFLOPP  
PATTAFFLOPP  
PATTAFFLOPP

VAKUUM  
PUMP

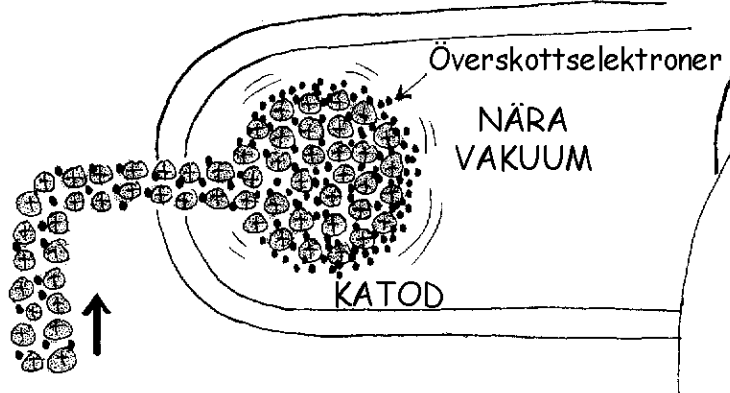
Jag fattar inte. Vid högt tryck funkade det inte. Vi sänkte trycket och en ström flöt. Vi sänkte trycket ytterligare och strömmen försvann. Katoden får svårare och svårare att pumpa ut elektroner.

... varför?

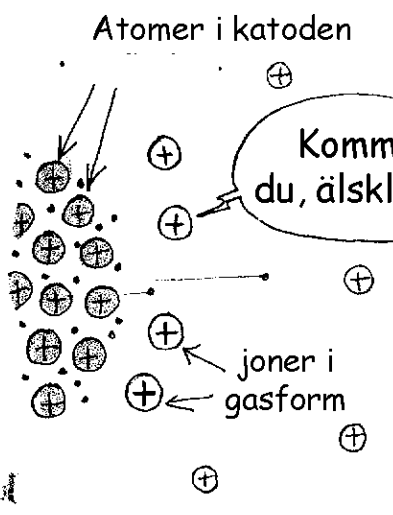
AMPERE



Katoden är ett stycke metall bestående av atomer med positiva kärnor och negativa elektroner



En elektrisk generator får fria elektroner att samlas i katoden. Men om spänningen är för låg, räcker inte elektrontrycket till för att frigöra elektronerna från metallatomerna.



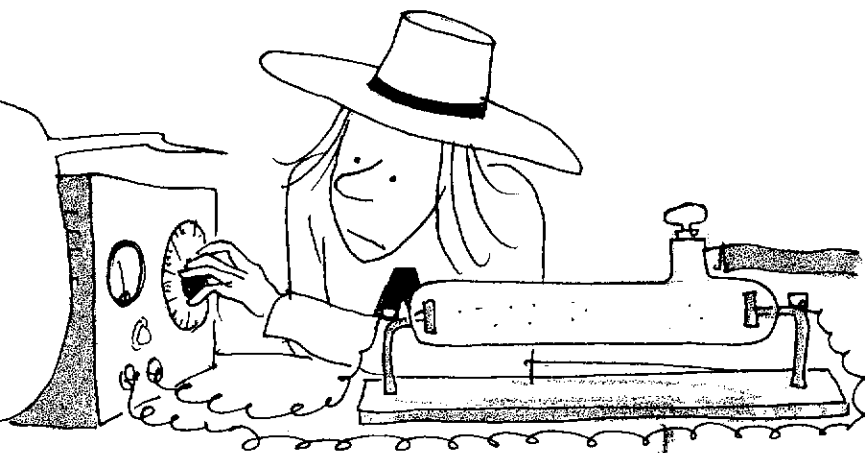
Om röret innehåller joner i gasform, hjälper dessa till att dra lös elektroner.

Men om gasen är för tät kan inte strömmen passera, så det finns ett optimalt tryck (\*)

(\*) Paschens minimum

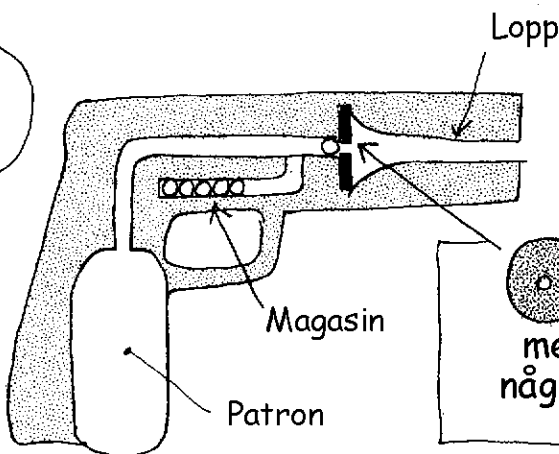


När det är nära vakuum i röret, krävs flera tusen volt för att få katoden att avge några elektroner.



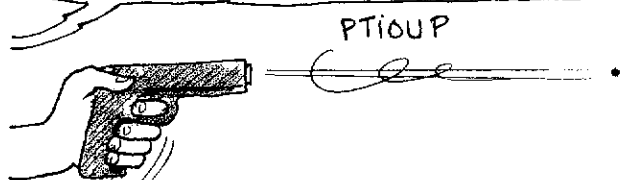
Vilken metall katoden är gjord av påverkar inte spänningen

Här är en gammal LUFTPISTOL



Gummimembran med ett hål i mitten, något mindre än kulan

När man fyrar av, deformeras membranet och kulan slungas ut med kraft

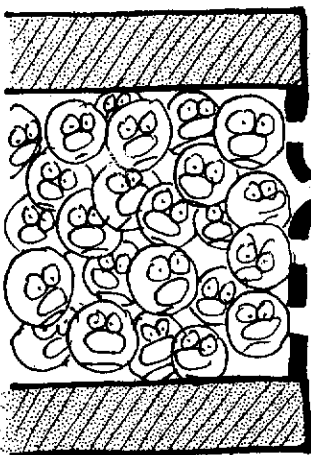


PTIOUP

Som när man spottar ut en körsbärskärna.

Se dig för!

FTIOUP!

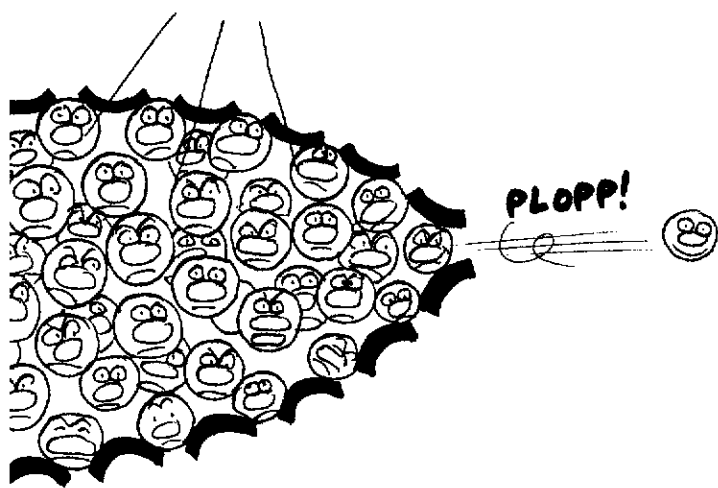


När katoden strålar, beter den sig som ett slags säll, med många små hål genom vilka elektronerna skjuts ut av "elektrontrycket".

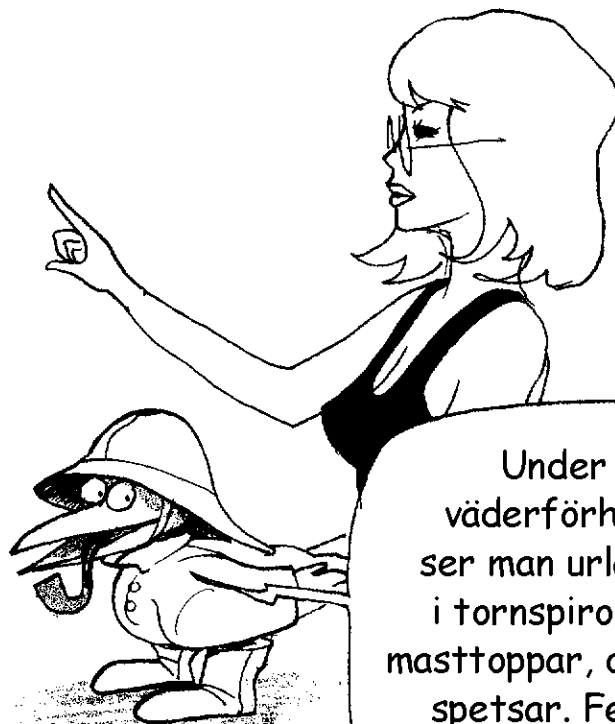


# SPETSVERKAN

ELEKTRONER

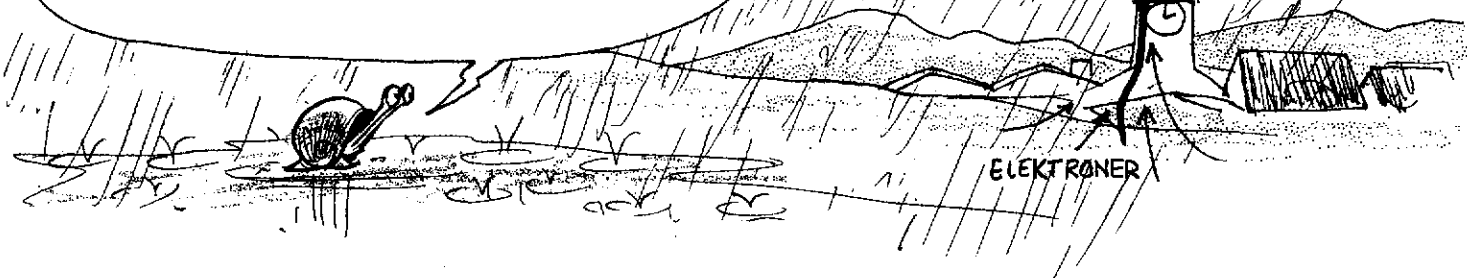


Elektronerna har lättare att passera sållet när det är krökt.



Under vissa väderförhållanden ser man urladdningar i tornspiror, skepps masttoppar, och liknande spetsar. Fenomenet kallas Sankt Elmseld.

Det förklarar också varför blixten gillar att slå ner i åskledare.



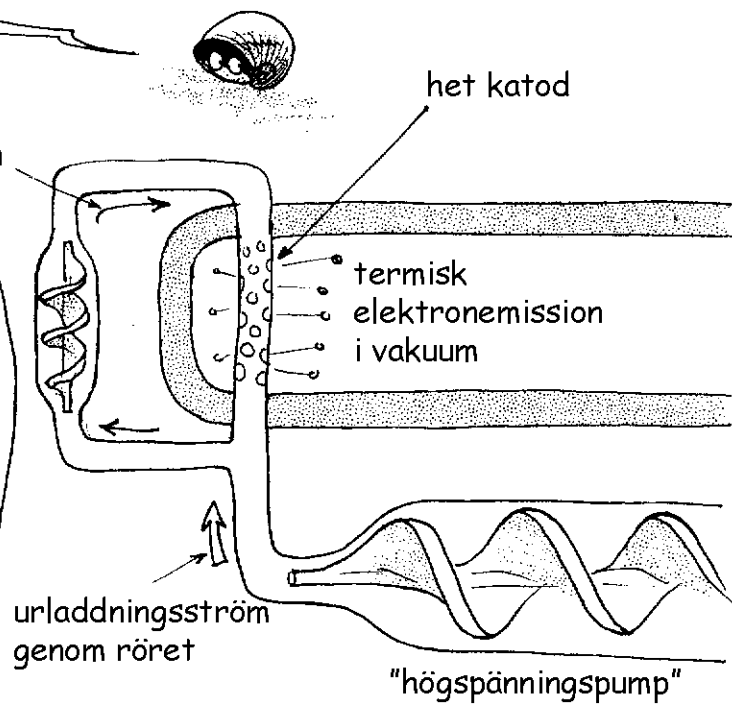
ELEKTRONER



Åter till urladdningar  
i vakuumrör:

Ström för att värma katoden

Man kan underlätta  
elektronemissionen genom  
att hetta upp katoden, som här,  
med en källa till lågspänning  
(såsom ett batteri).



Se där!  
Nu leder röret  
ström vid en  
spänning av under  
hundra volt.

Sophie, vad håller vi på med,  
egentligen?

allt det här  
joxandet med  
elektroner...

Det kallas ELEKTRONIK



Så vad är elektronik bra för?

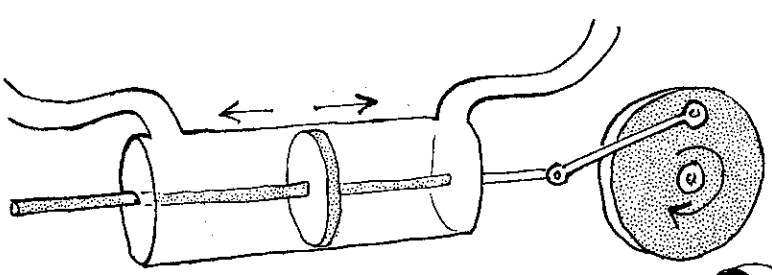
Herregud...

Men vänta, hörni

Vi har sagt att elektriska generatorer är ett slags pumpar, men hemma har vi växelström, såvitt jag vet.

Men kära ni, trodde ni att allt i huset var enkelt?

# VÄXELSTRÖM



Här är en annan typ av elektronpump, som arbetar på ett annat vis.

Just en snygg pump, som suger och blåser om vartannat!

Jag fattar noll...

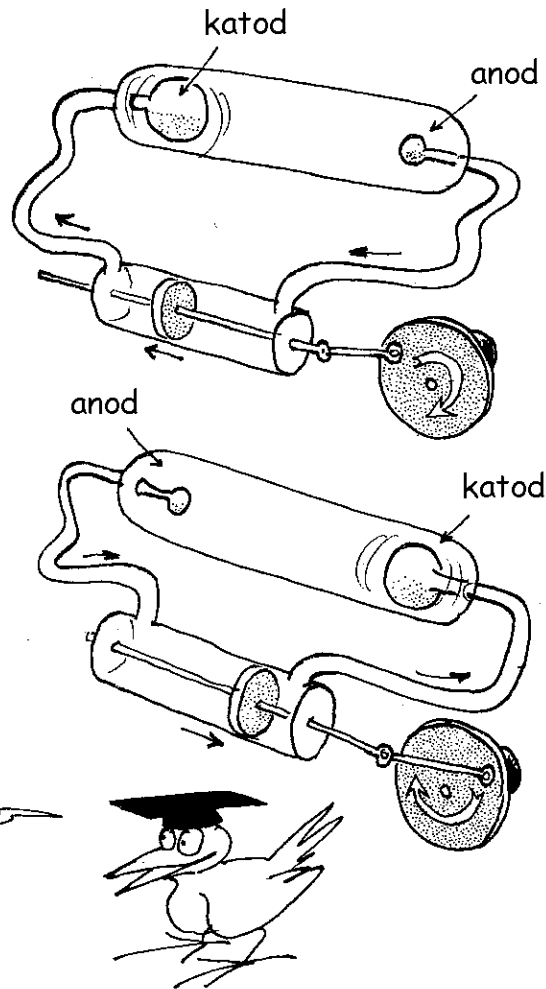
Så var ansluter vi anoden, och var katoden?

Elektrodena turas  
om att vara katod.

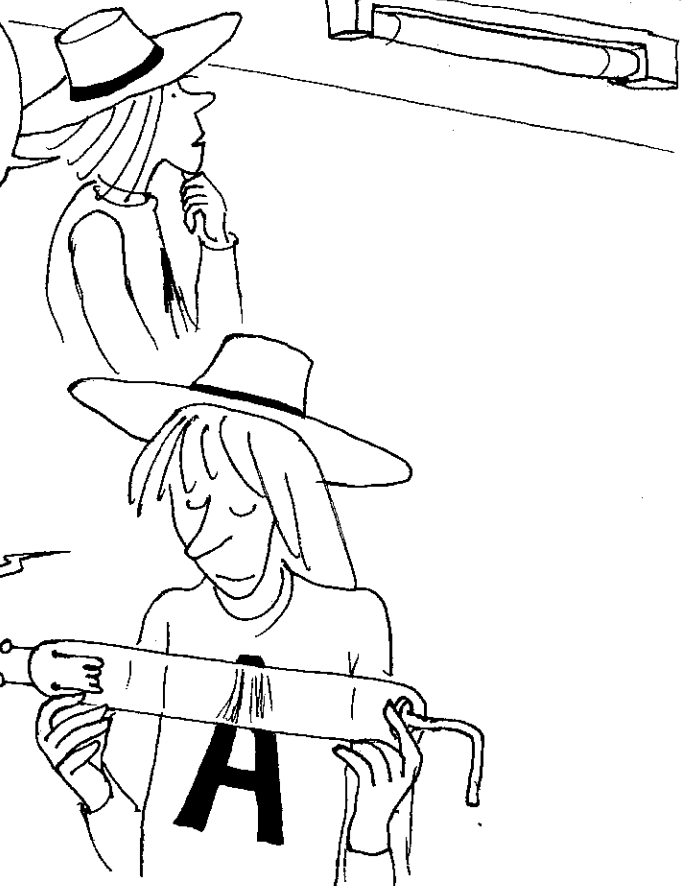


Så  
allt vi sagt  
förut gäller  
fortfarande.

Elektronlavinan,  
icketermisk jonisering  
och så vidare?

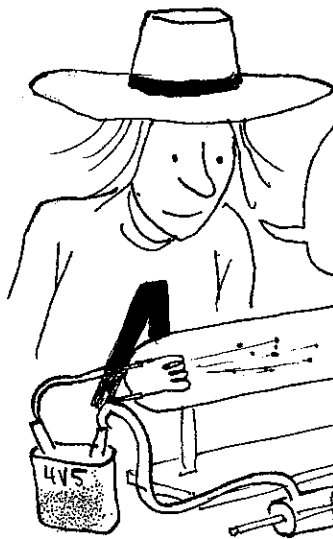


Det borde rimligen funka,  
för lysröret i köket är verkligen  
anslutet till 220V växelspänning.



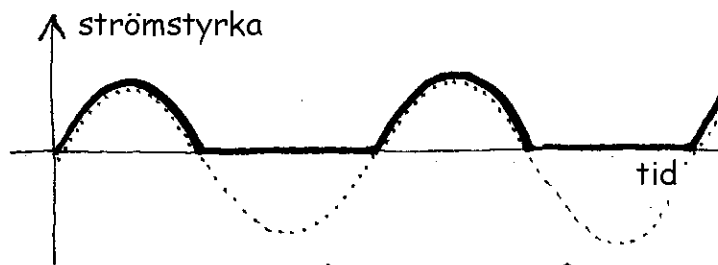
# DIODEN

Men vad händer om jag lägger  
växelspänning på röret nu, när ena  
elektroden är varm och  
den andra är kall?

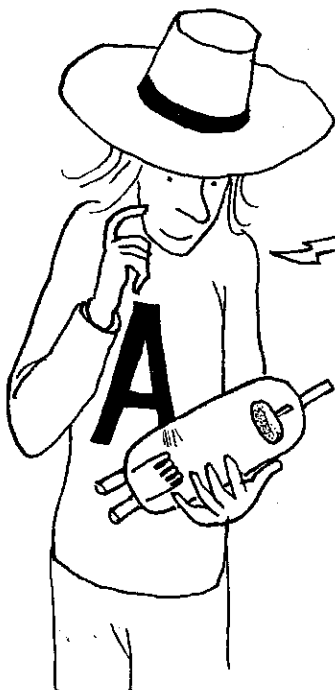
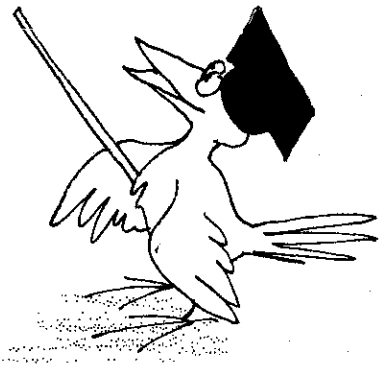


När den heta elektroden är katod, avger den elektroner.

Men när vi försöker få den kalla att avge elektroner blir det stopp! Anselm, du har byggt en **LIKRIKTARE**.



De streckade linjerna visar "elektrontrycket" i den heta katoden och den heldragna linjen visar elektronflödet.



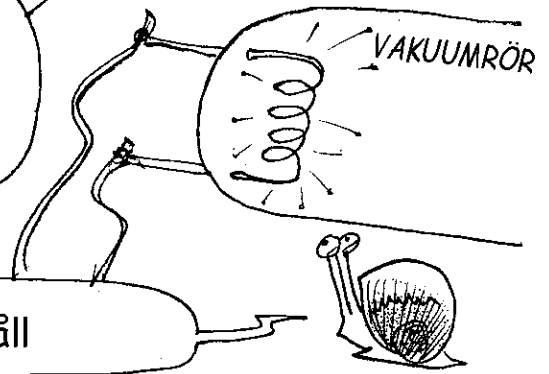
Jag vet inte varför vägguttaget har växelström, men det är klart att den här **DIODEN** kan omvandla växelström till "nästan likström"



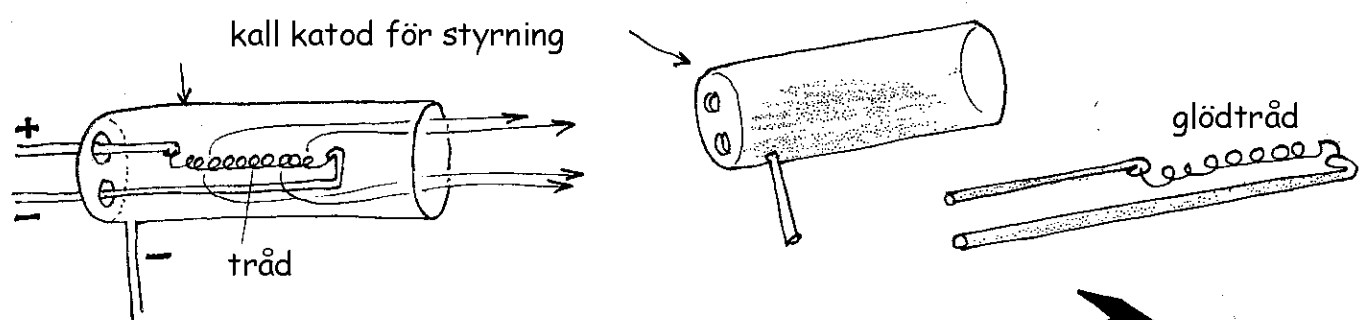
# ELEKTRONKANONERNA



Så det finns två slags katoder men bara heta katoder kan avge elektroner och producera en ström. Kalla katoder kan bara motta elektroner.



Din heta katod sprutar elektroner åt alla håll



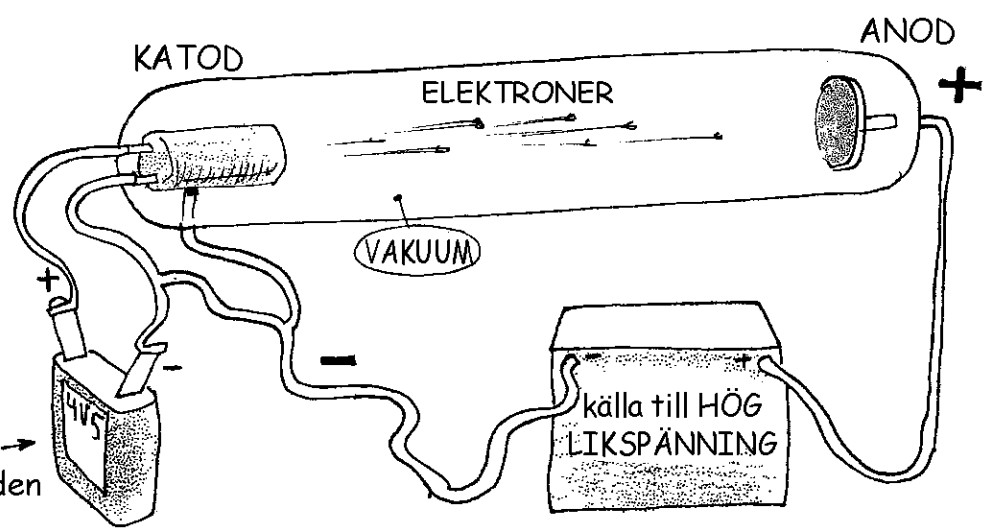
Med den här kalla katoden (som leder mycket lite ström) tvingar Anselm elektronerna från glödtråden att slungas ut längs ELEKTRONKANONENS axel; det är deras enda utväg.



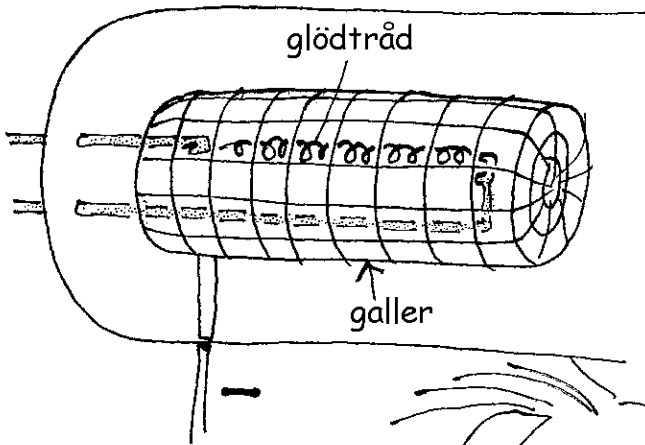
Här är hela konkarongen i ett vakuumbör



Lågspänningskälla → för att värma katoden



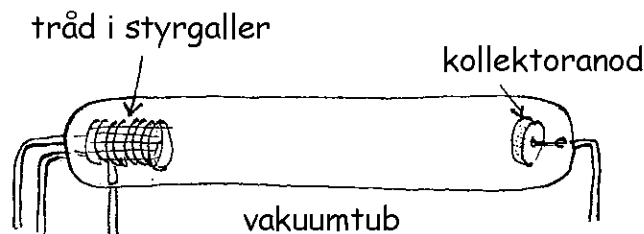
# TRIODEN



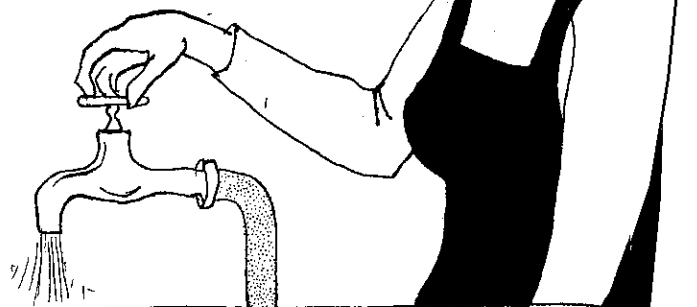
Kolla: jag har omslutit min katod, glödtråden, med en gallerbur. När den är oladdad, kan elektronerna passera fritt, men om jag ger den en negativ laddning tvingas elektronerna stanna i glödtråden och stömmen bryts.

Du har gjort ett **STYRGALLER**.

Genom att reglera gallrets laddning kan man styra en stark ström med en liten mängd energi.

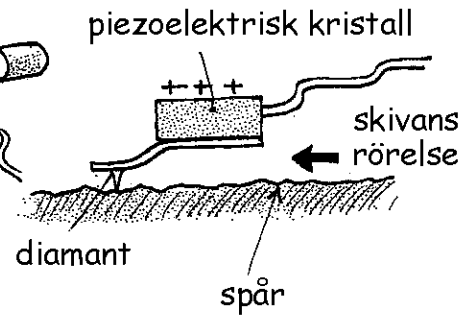
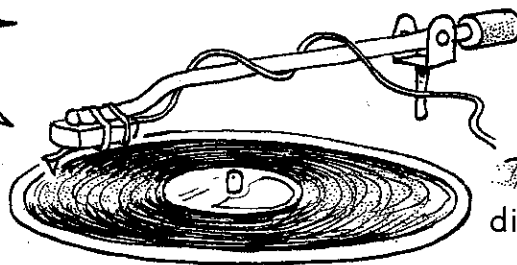
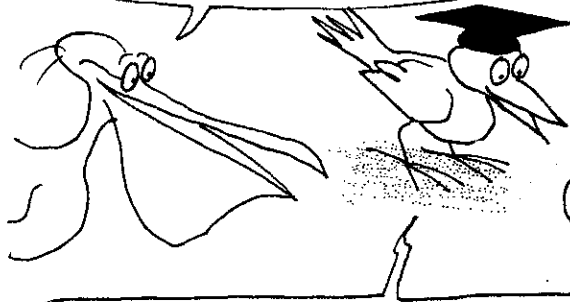


Aha, som när man öppnar och stänger en kran.



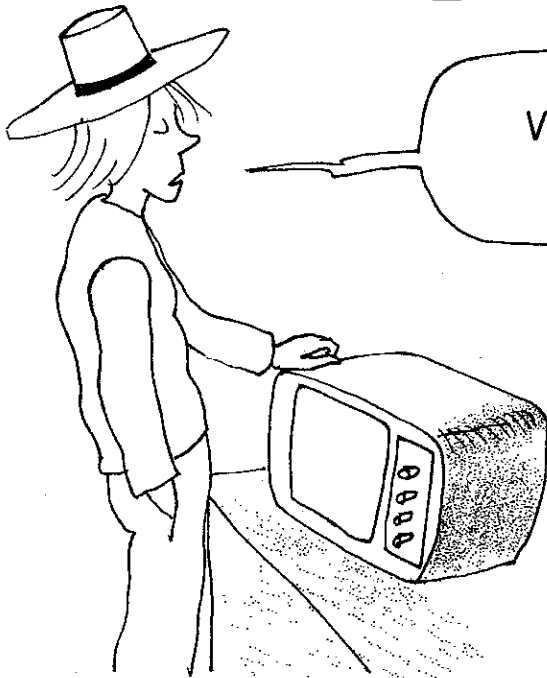
**TRIODEN**, som har tre elektroder - anod, katod, och galler - utgör grunden för **STRÖMFÖRSTÄRKARE**

Så hur är det med elektroniken?



Den piezoelektriska kristallen i pick-upen genererar en svag ström som förstärks av en triod.

Vem kunde tro att sådana saker pågår i köket, badrummet och vardagsrummet?

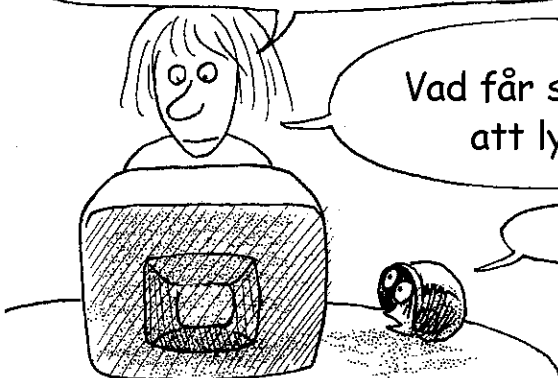


Och TVn, hur funkar den?

Jag kommer!

Vad får skärmen att lysa?

Nå't annat

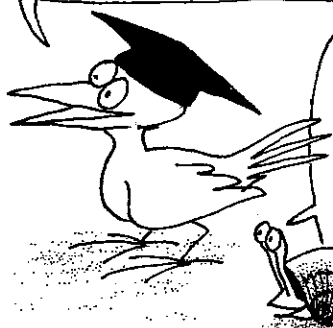


# FLUORESCENS



Vissa ämnen har förmågan att absorbera strålning av en frekvens och avge den med en annan frekvens.

**FLUORESCEIN**, exempelvis, absorberar vitt ljus, som är en blandning av alla färger, och avger grönt ljus.



Nylon absorberar UV-ljus och avger blått ljus. Jag såg det i en nattklubb. Allas kragar lyste blåa.

Jisses, Tirésias!  
Du, på nattklubb?

Insidan av ett lysämnesrör är belagd med ett ämne som gör det motsatta: det absorberar blått ljus som avges av neonet och avger vitt ljus.



Jag har hittat vakuumblockan.  
Den är mer praktisk för  
experiment än ett rör.







Jag har strykt lysämne på klockans insida. Pumpen är där under.

Jag ser emittorkatoden och kollektoranoden.

Prima vara!

Vi pumpar ut luften, och... men va?

Kom ihåg luftpistolen vi tittade på. Katoden avger elektroner med hög hastighet och anoden rör inte på dem.

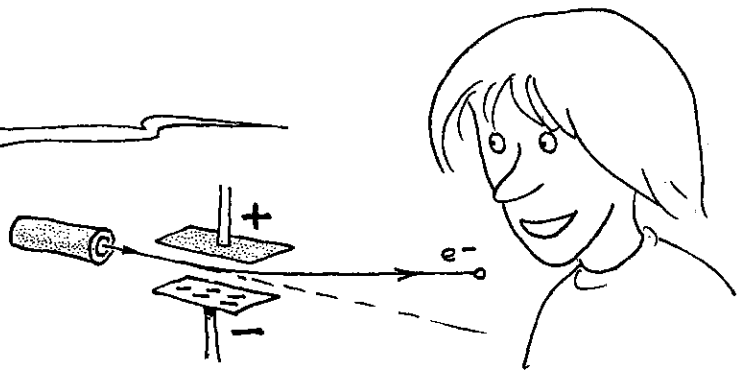
Elektronerna verkar inte bry sig om var anoden är

Men i slutänden måste väl elektronerna fångas upp av anoden?

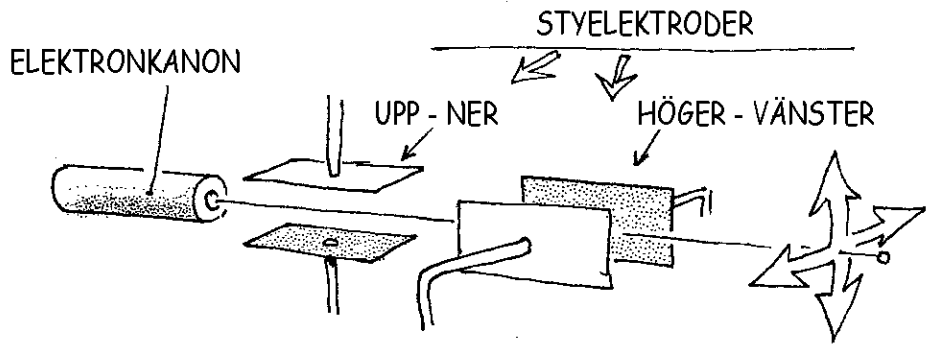
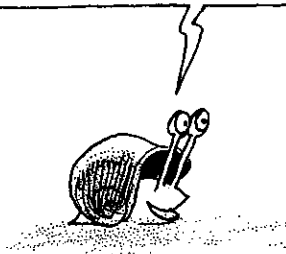
BING!

De rör sig långsamt ditåt efter att ha förlorat energi genom att kollidera med glaset.

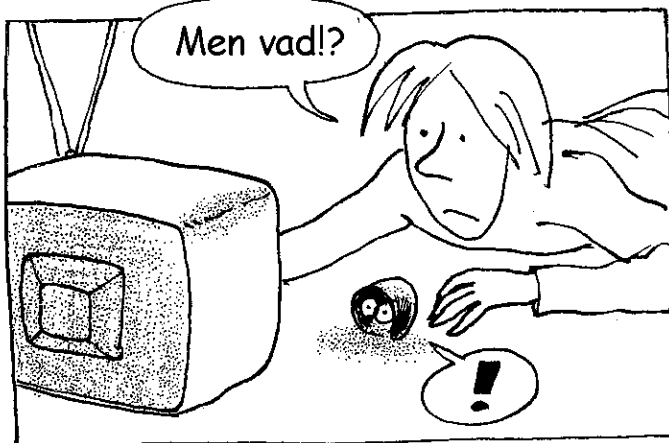
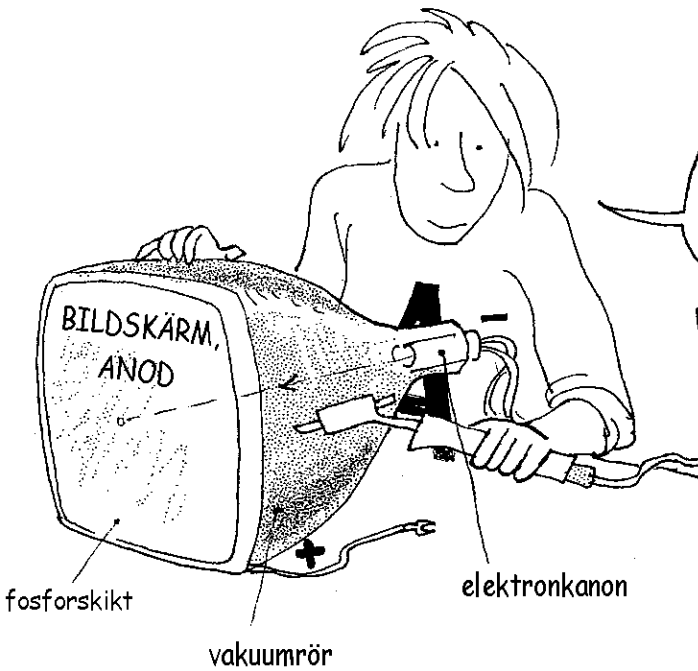
Med en elektronkanon kan jag kanalisera strålen av elektroner. Sedan kan strålen avlänkas med hjälp av kalla elektroder, som man behagar.



Med två par av elektrode har vi fullständig kontroll över strålen.



En TV-apparat är en vakuumblocka med annan geometri.



När jag håller magneten mot skärmen, förvrängs bilden.

Det var den svartvita TVn.  
Nu försöker vi med  
färg-TVn.

Vad händer?

Åh, det vanliga.

Vilka toppenstörningar!

Vilka knarkiga  
färger!

Anselm, jag tror att  
du har ett problem?

Det är färgade fläckar på skärmen.

Tusan, de går  
inte bort.

Det påminner mig  
om kemiexperimentet på  
vardagsrumsmattan.

Lönlöst att försöka torka,  
fläckarna är på INSIDAN.

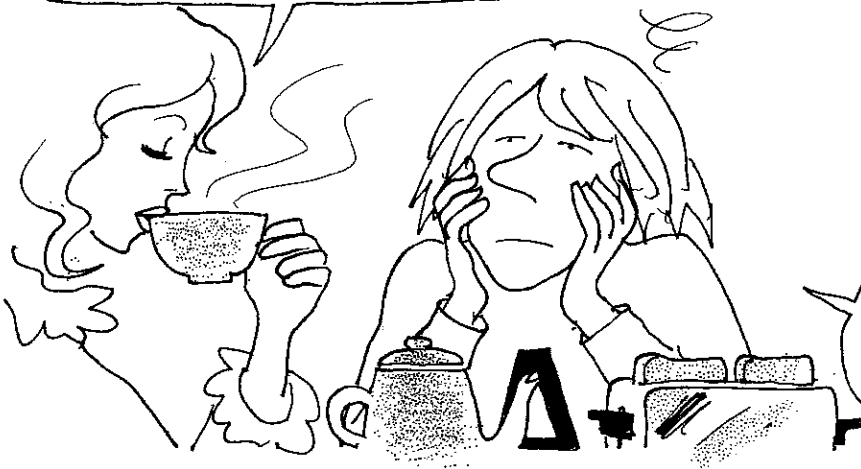
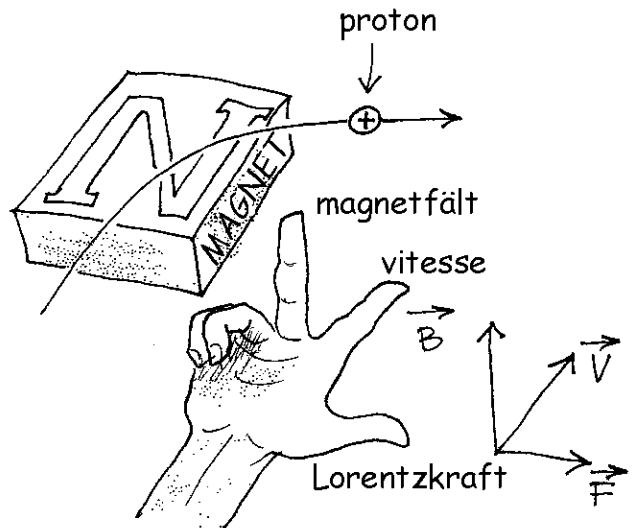
Vetenskapens gudar  
är inte på vår sida i dag.

Men hur rengör  
vi bildrörets INSIDA?

I morgon  
är en annan  
dag

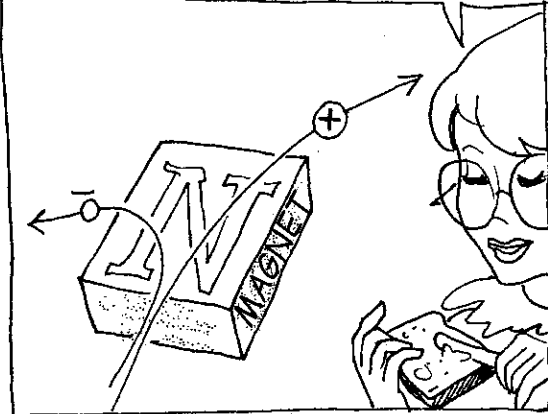
# LORENTZKRAFTEN

Enkelt!  
Varje laddad partikel  
som korsar magnetiska fältlinjer  
utsätts för en kraft given  
av TUMREGELN.

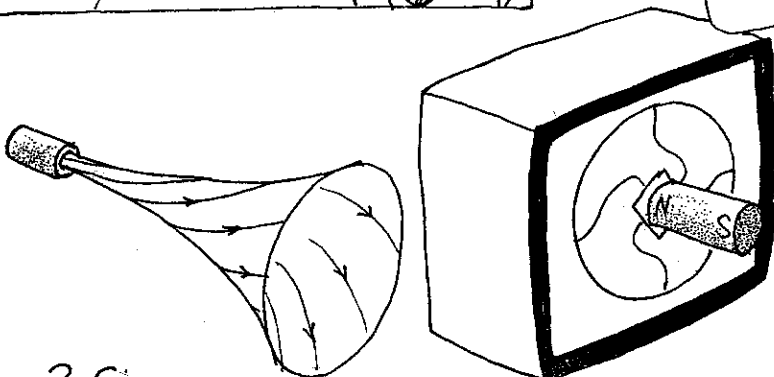
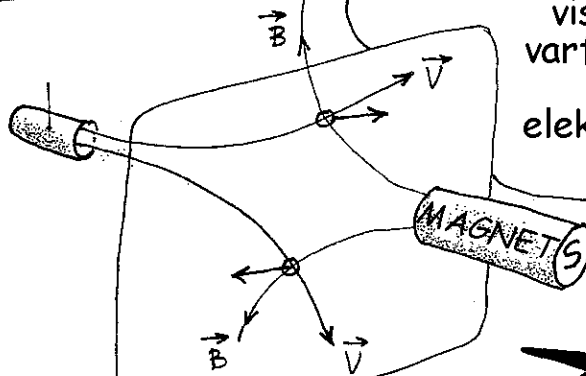


Aha, men negativa  
laddningar, då?

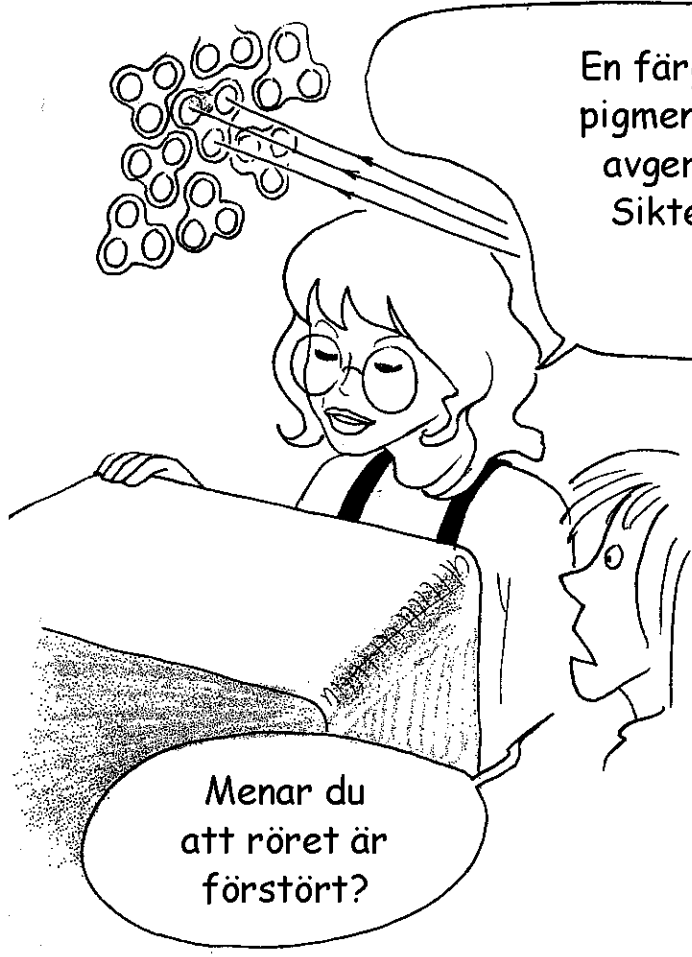
I det fallet är  
riktningen den motsatta.



Tillämpad på TVn  
visar detta  
varför magneten  
böjer av  
elektronstrålarna.



... vilket förklarar  
förvrängningen.



En färg-TV-skärm har tre slags punkter med pigment som när det träffas av elektronerna avger blått, rött respektive grönt (\*) ljus. Siktet är viktigt, och din magnet lämnade kvar magnetisering i pigmentet, vilket orsakade fläckarna

Menar du att röret är förstört?



Nej, men vi måste bli av med restmagnetiseringen.

Och hur ska det gå till?



Jisses Amalia, vad gör hon?

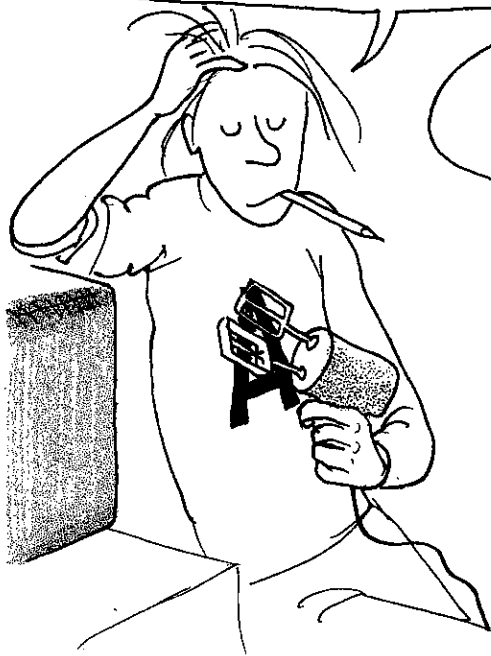
Sophie genererar ett variabelt magnetfält, som hon försvagar genom att avlägsna pennan. Enkelt!



Fenomenet kommer att förklaras senare.  
Ledningen

(\*) genom att kombinera dem kan vi få alla regnbågens färger.

OK, skärmen är ren, men jag fattar fortfarande inte hur elen kommer till vårt hus, eller ens hur ett batteri fungerar.



Red ut det. Du har allt du behöver hemma.



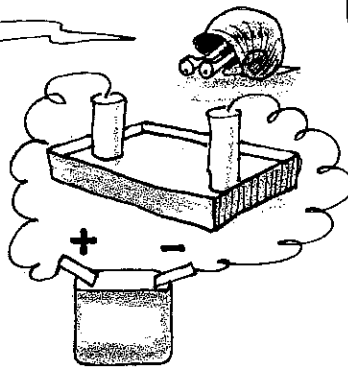
Skämtare där. Vad har jag? Magneter, ledningar, salt, vatten. Inget att göra ett batteri av.



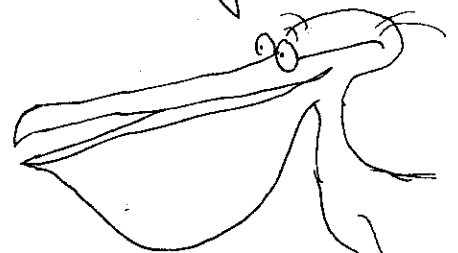
Och förresten, kan vätskor leda ström?

# ELEKTROLYTER

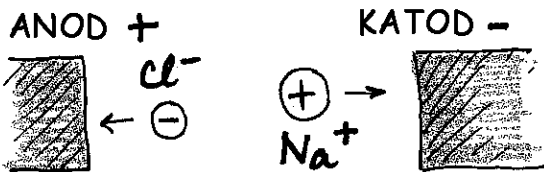
Metaller har gott om fria elektroner som gärna rör på sig. För att göra en gas ledande, måste den joniseras och bli plasma. Men vätskor?



Jag antar att de har fria elektroner?



När koksalt - natriumklorid,  $\text{NaCl}$  - löses i vatten, övertar varje kloratom en elektron från en natriumatom. KLORJONERNA  $\text{Cl}^-$  vandrar mot anoden och NATRIUMJONERNA  $\text{Na}^+$  vandrar mot katoden.



Ledningen

Så i en vätska utgörs inte strömmen av fria elektroners rörelse, som den gör i metaller, utan av JONTRANSPORT.



Vad händer med jonerna?  
Tränger de in i elektroderna?

Nej, klorjonen lämnar bort sin överskottselektron, och en annan elektron, från katoden, neutraliserar natriumjonen...

... och cirkeln är sluten.

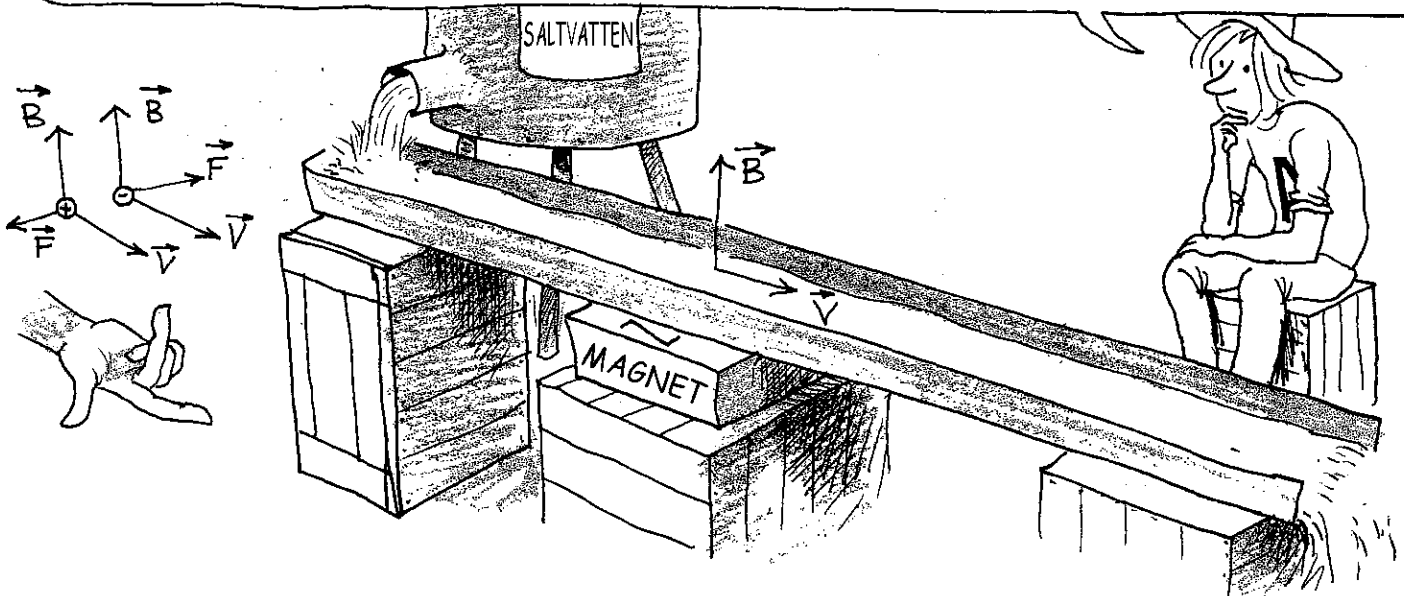
Och vad sysslar herr Vetgirig med?

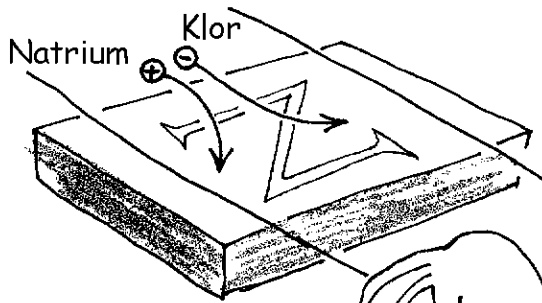
Han verkar ha återgått till hydrauliken.

Fram med mopparna!

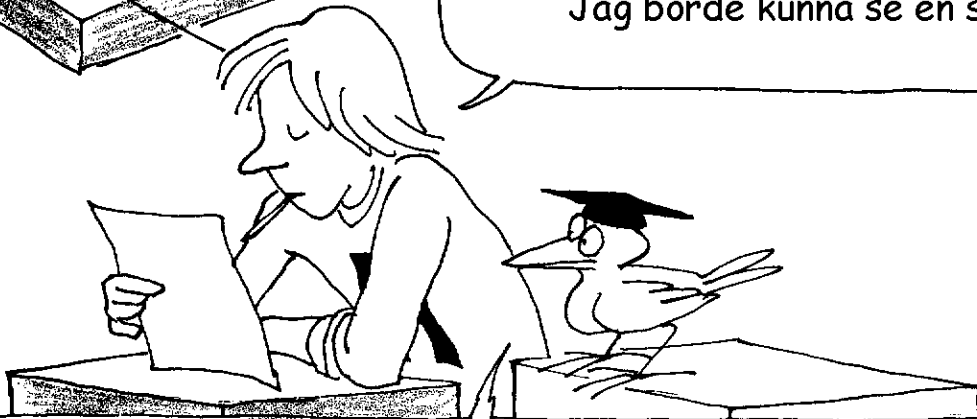
# ELEKTROMOTORISK KRAFT

Sophie säger att varje elektrisk laddning som rör sig i ett magnetfält utsätts för en LORENTZKRAFT. Logiskt sett borde en sådan verka på  $\text{Cl}^-$  och  $\text{Na}^+$ -jonerna i saltlöningen



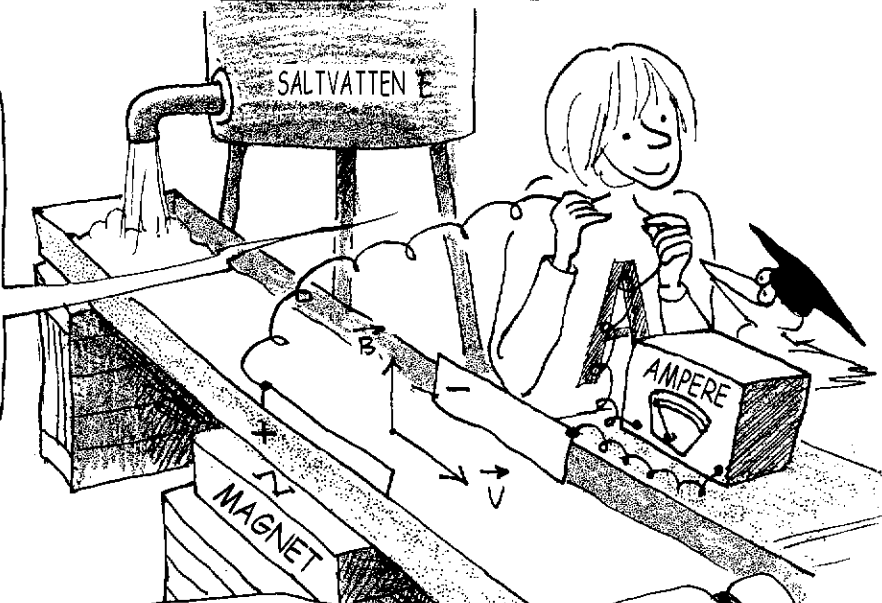


Låt se. I ett vertikalt magnetfält, riktat uppåt, bör natriumjonerna vika av åt höger och klorjonerna åt vänster. Jag borde kunna se en separation.



Det är en förenklad bild, för jonerna i vätskelösning kolliderar med många vattenmolekyler, vilket sinkar dem betänkligt. Dessutom är lorentzkraften proportionell mot laddningens hastighet och magnetfältets styrka, och är därför ganska svag.

Och ändå, käre Max, måste du medge att en nettotransport av laddningar äger rum. Jag borde därför kunna mäta en spänning mellan flödets "stränder".

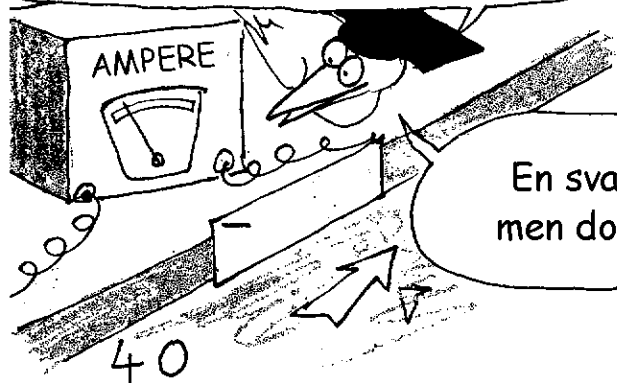


Du har rätt, en ström flyter!

Vet du vem som först gjorde det här experimentet?

En svag, men dock!

NEJ





Det var engelsmannen Michael Faraday, 1857.  
Han använde Themsens vatten när tidvattnet gick in och ut...  
och jordens eget magnetfält. Därmed uppfann han den  
**MAGNETOHYDRODYNAMISKA** generatorn.

Men en sådan generator  
har löjligt låg effekt.

Kanske vatten inte är  
det bästa för en generator.

Vad föreslår du?  
Kopparsmälta?

Varför måste det  
vara en vätska?

# BARLOWS HJUL

Sophie har rätt.  
Om vi roterar en metallskiva i  
en magnets luftgap kommer  
elektronerna att omfördelas, medan  
de positiva atomkärnorna  
sitter fast.

Se här vår första  
**ELEKTRISKA GENERATOR**

(\*) En liten magnet för knappnålar ger ungefär hundra gauss



När jag rör ledaren i magnetens luftgap, känner jag en motriktad kraft.

Laddningarna liknar fordon på en väg, som motsvaras av metallens rörelse. De positiva laddningarna är tunga fordon, som inte kan svänga eller sakta ner. De rör sig tillsammans som en konvoj. Elektronerna är lätttröliga motorcyklar som inledningsvis följer med strömmen.

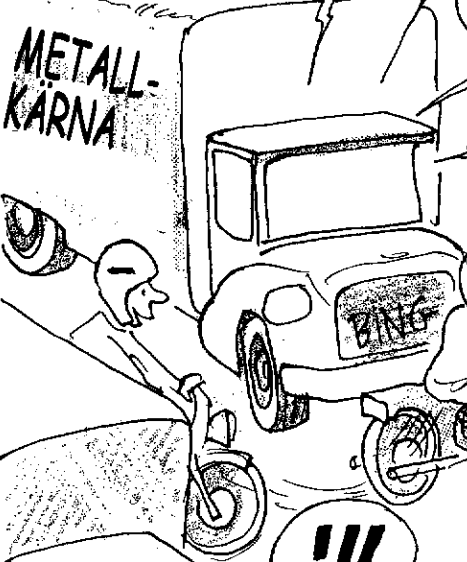
Öh! Vad är det där för stil?

Men se vad som händer nu!

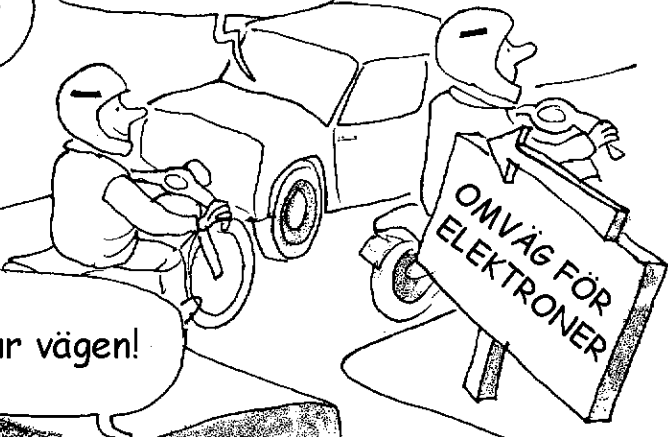
Dessa elektroner, ingen hyfs!

De sinkar mig!

Vissa är minsann lättretade!



Hallå, jag har saker att uträtta!



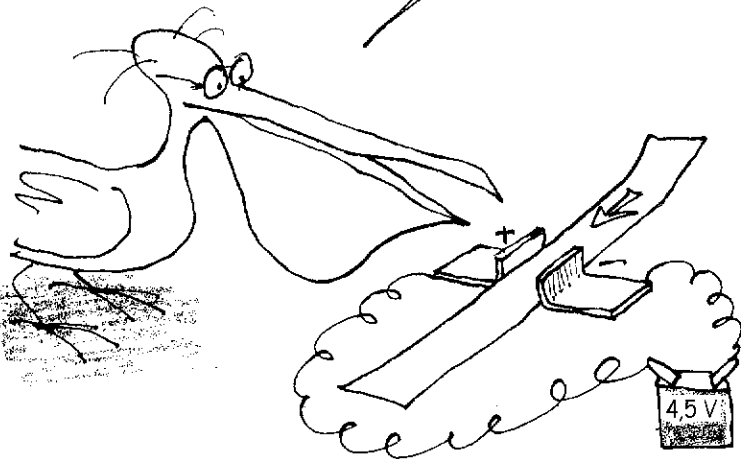
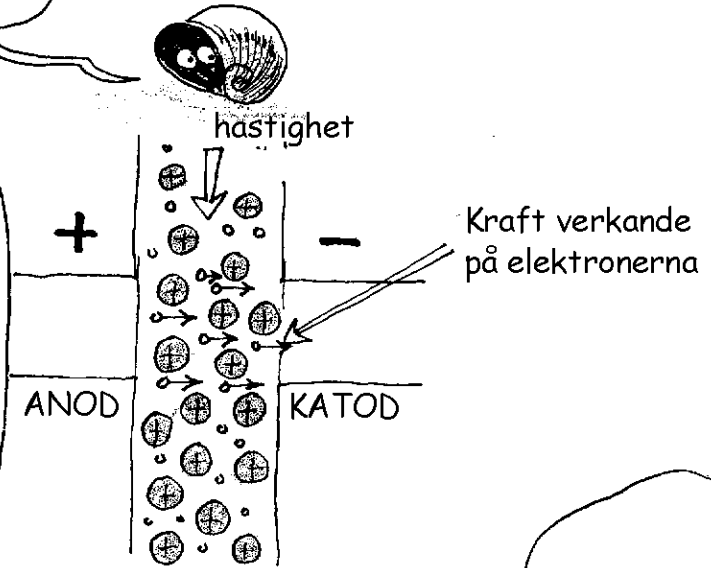
Undan, ur vägen!

METALL-KÄRNA



Det här visar, på en mikroskopisk nivå, varför man behöver utföra ett **ARBETE** för att generera elektrisk energi.

Tillåt mig tvivla.  
Glöm magnetfältet.  
Borde jag inte kunna skapa en likadan bromsande kraft genom att tvinga elektronerna att böja av i ett elektriskt fält i stället för ett magnetfält?



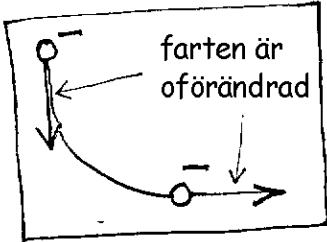
Nej, Léon,  
det vore en annan femma!

Om du lägger på ett tvärgående elektriskt fält, känner elektronerna av en transversal kraft och får en hastighetskomponent  $V_T$  i den riktningen. Men den hastighetens axiella komponent  $V_0$  förblir oförändrad. Alltså överförs energi till elektronerna.

Det elektriska fältets verkan



Det magnetiska fältets verkan



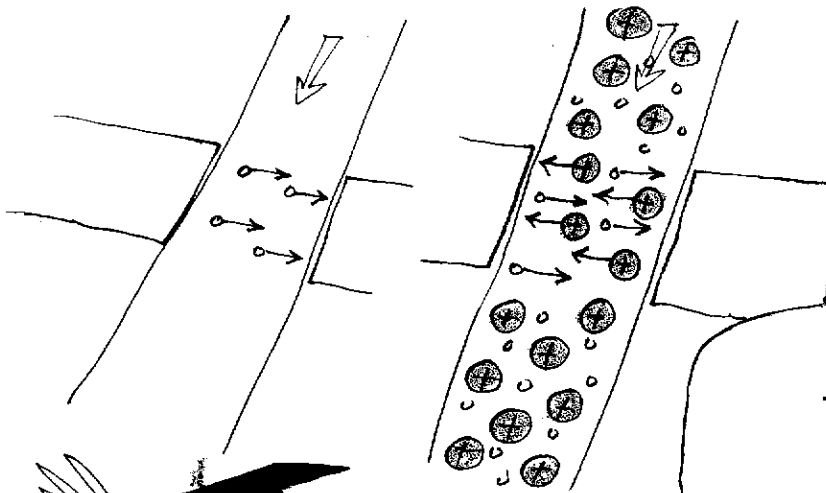
Ett transversellt magnetfält, å andra sidan, ändrar inte elektronernas kinetiska energi  $mV^2/2$ , utan ändrar hastighetens riktning. Den axiella hastighetskomponenten minskar, och ledaren bromsas.



Ja, men i båda fallen ger jag elektronerna en transversalhastighet...

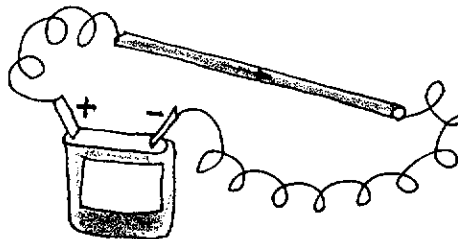
... så jag borde se en kraft i sidled.

Léon, du glömmer att **LORENTZKRAFTEN** verkar på både positiva och negativa laddningar, och de krafterna är i balans...



... de tunga laddningarna känner en konstant kraft i sidled och de lätta krafterna motverkar denna genom kollisioner.

När ström flyter genom en ledare, ligger den stilla!

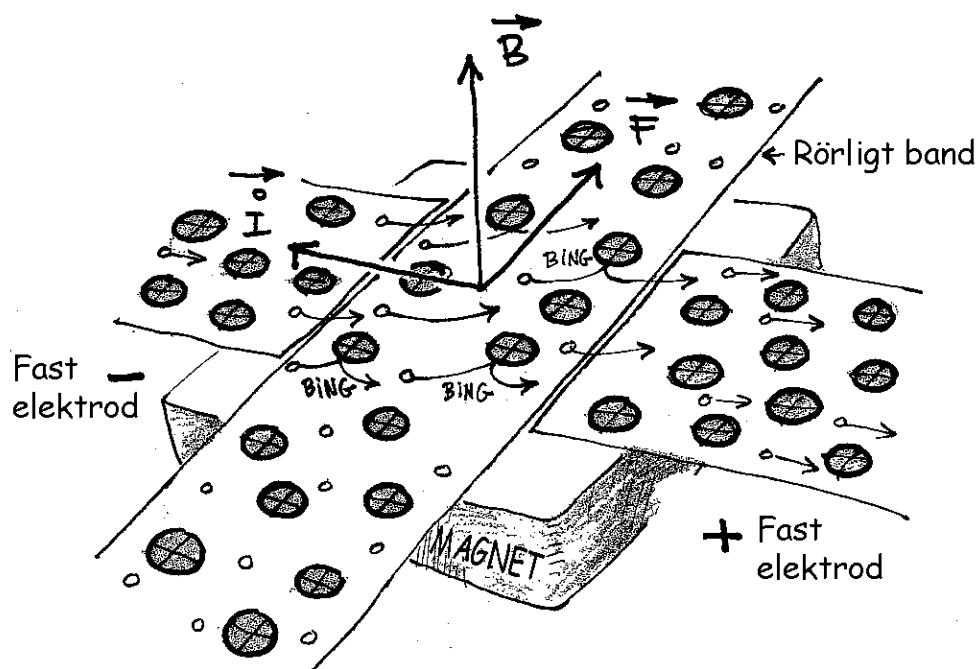


# DEN ELEKTRISKA MOTORN

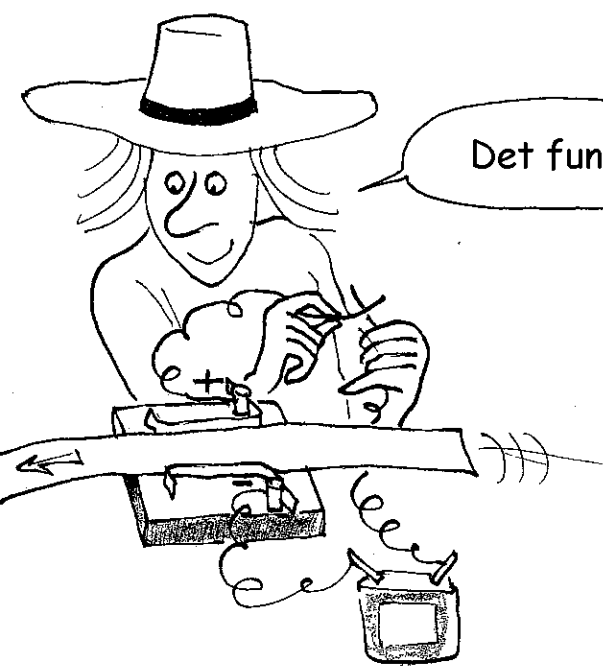


Det ger mig en idé. En ström som går tvärs över ledaren orsakar ingen kraft, men vad händer om jag kombinerar två effekter: den tvärgående strömmen från en generator och magnetfältets vridning av hastighetsvektorerna?

Generatoren kommer att få elektroner att röra sig tvärs över bandet, och magnetfältet böjer deras banor så att en kraft verkar i bandets riktning.



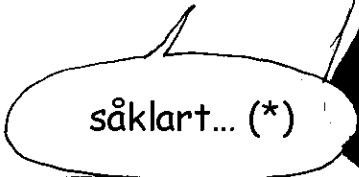
Genom att resonera kring atomernas beteende kan vi förutse systemets makroskopiska beteende.



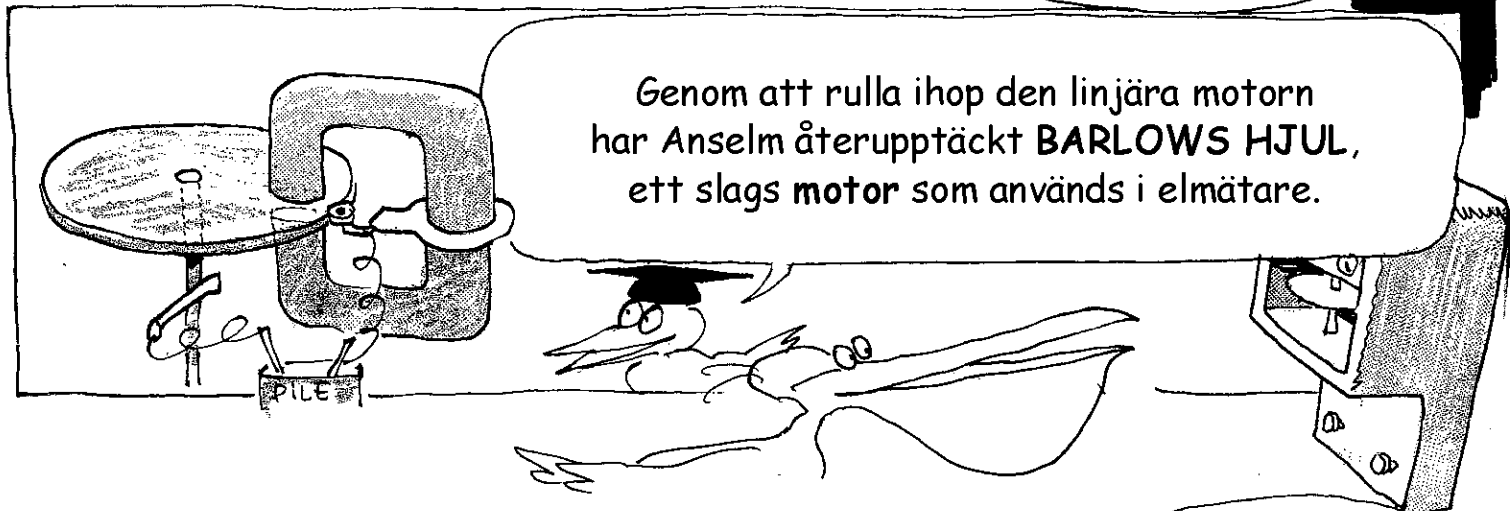
Det funkar!



Sophie, kan man röra på en vätska eller gas på samma sätt, med en sådan här LINJÄR MOTOR?

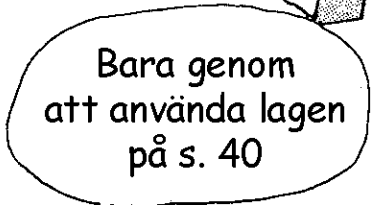


såklart... (\*)

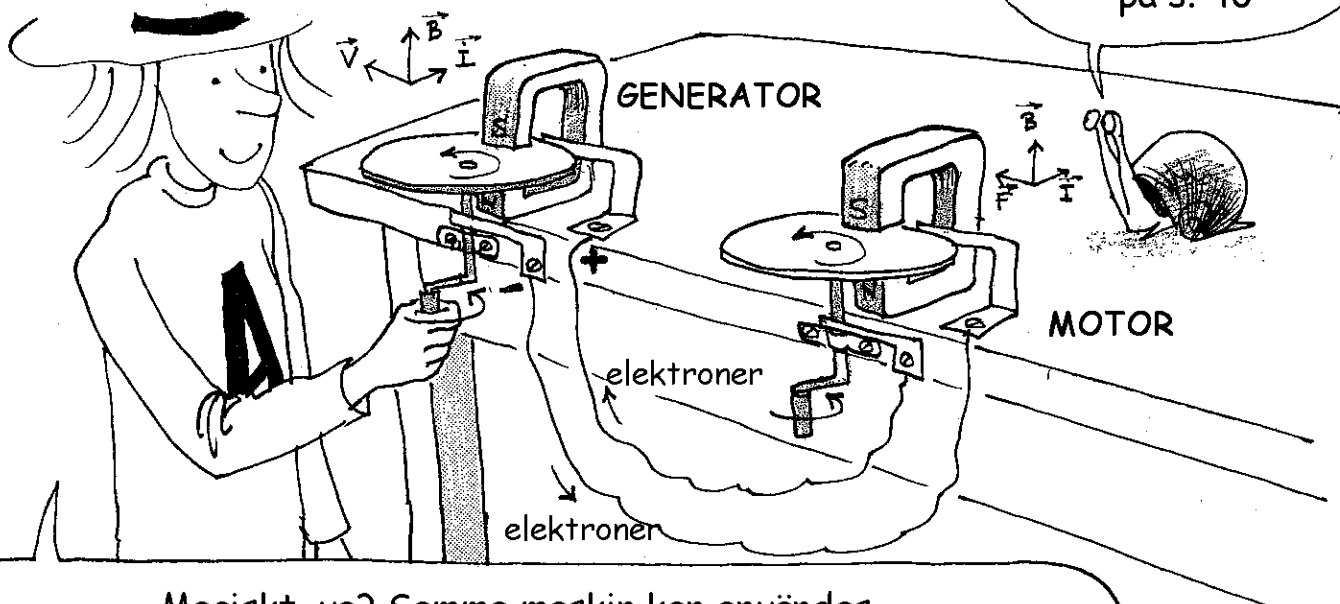


Genom att rulla ihop den linjära motorn har Anselm återupptäckt **BARLOWS HJUL**, ett slags motor som används i elmätare.

# REVERSIBILITET



Bara genom att använda lagen på s. 40



Magiskt, va? Samma maskin kan användas både som generator och motor.

Så betraktade är elektromagnetiska maskiner bra på att överföra energi.



Vi kan göra samma sak med en turbin.

Om man fäster vevhandtagen i varandra borde man få en **EVIGHETSMASKIN!**

Léon, du vet mycket väl att energi dissiperas i ledarna genom kollisioner.

I elektriska ledare, stationära eller i rörelse, undergår laddningarna många kollisioner med icke-laddade partiklar.

Väglus!

Till och med när vi parkerat blir vi antastade!

Du ska nog få se på omkörningar!

Såg ni hur han trängde sig?

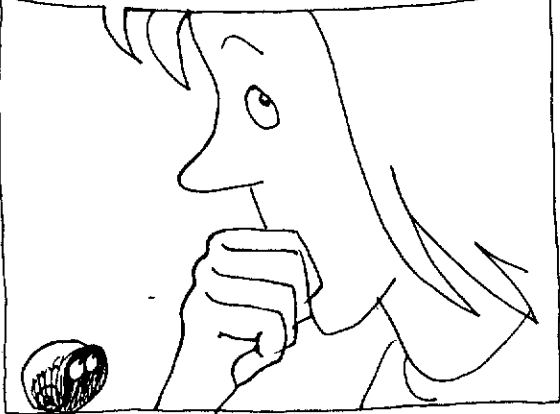
Älskling, lugna dig.

Titta bara! Vilka dårar!

Sväger utan att se sig för!

# RELATIVITET

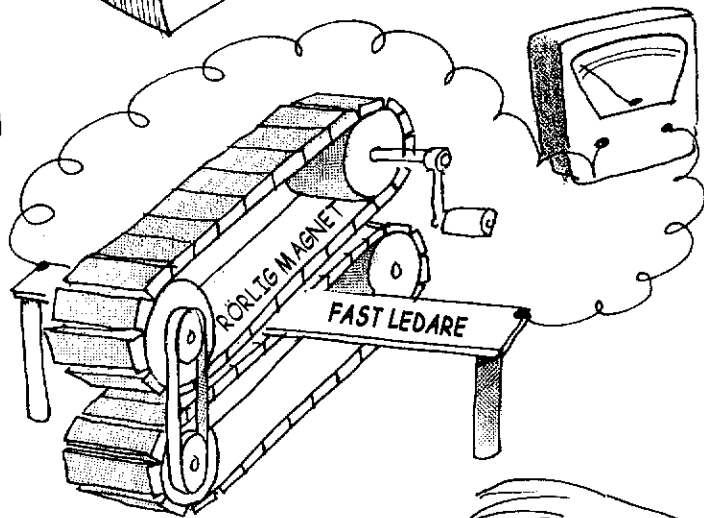
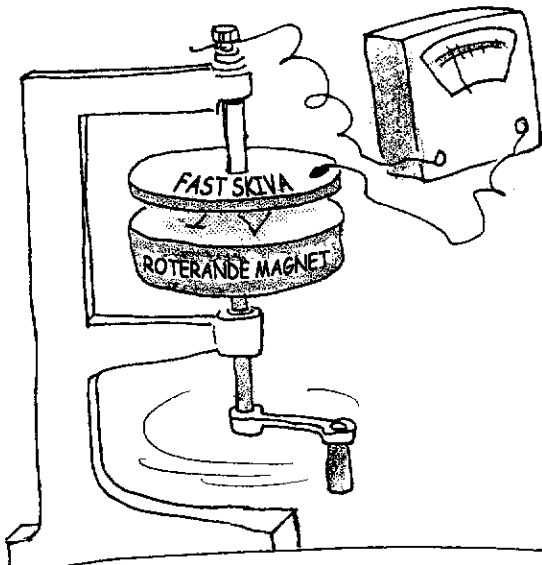
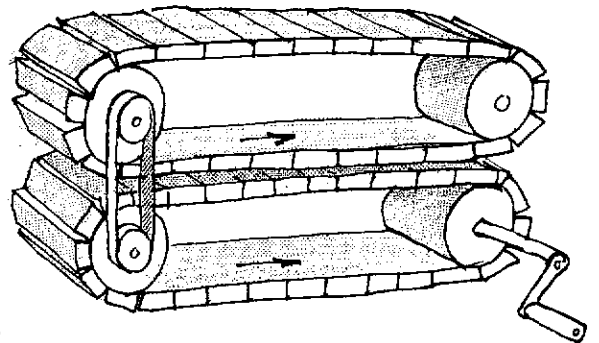
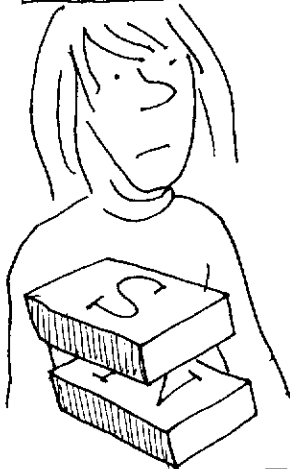
Tirésias, jag fick en bra idé



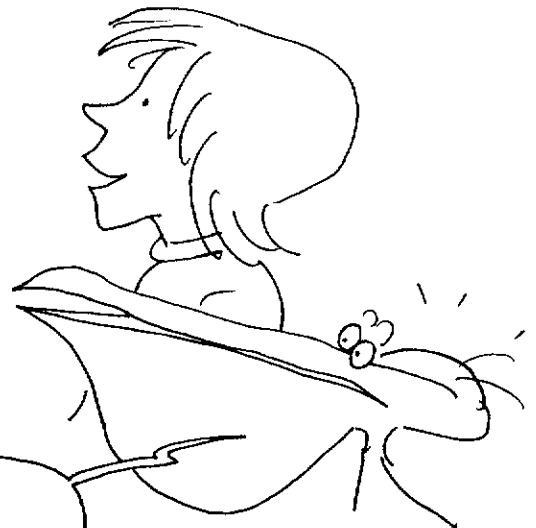
Jag har fäst magneter på ett band



... jag måste veta säkert



I stället för att röra ledaren genom ett magnetfält som är konstant inom ett visst område, fäster jag ledaren och rör fältet!

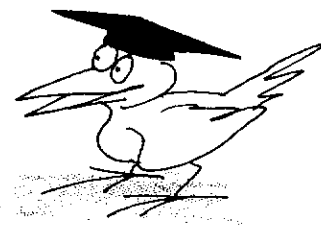
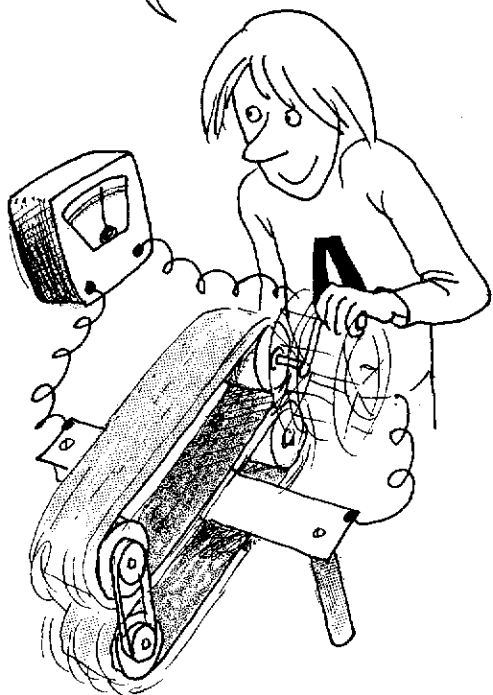


Vilket genidrag!



Titta, en ström uppstår, helt klart!

Det illustrerar att LORENTZKRAFTEN bara beror på laddningarnas och magneternas RELATIVA RÖRELSE.



# MAGNETER

Sophie, vad är ett MAGNETFÄLT?



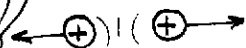
En bättre fråga är:  
VAD HAR MAN  
DET TILL?



Vad då, vad har man det till?



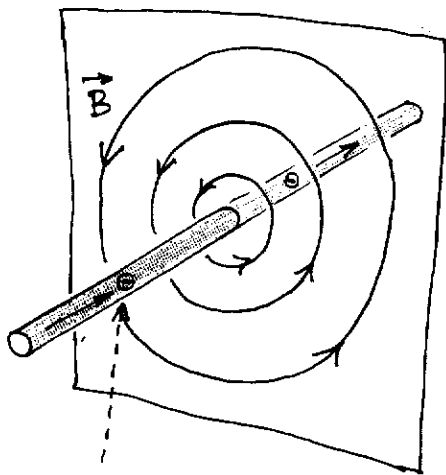
Två elektriska laddningar attraherar eller repellerar varandra beroende på om de har samma eller motsatta tecken.



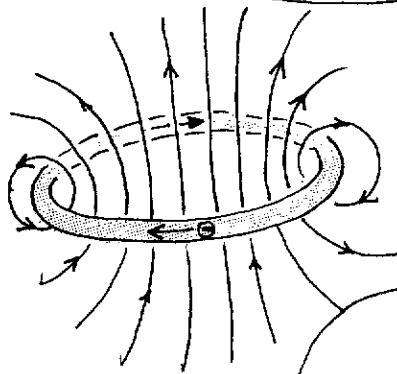
De utsätts också för en kraft när de rör sig tvärs mot magnetiska fältlinjer.



Jaha, men var kommer magnetfältet ifrån?



Elektroner i rörelse

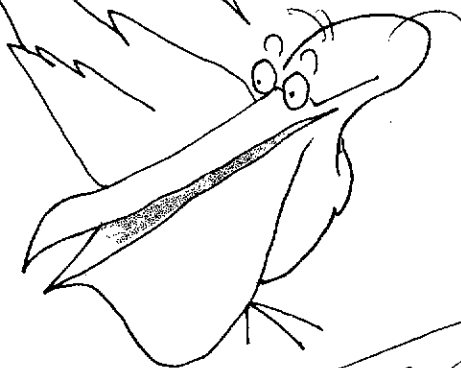


Det är strömmen

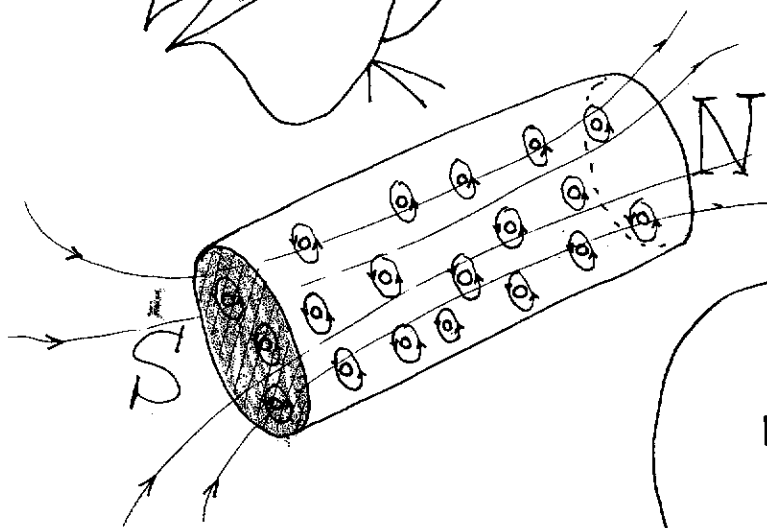


Och kom ihåg att på grund av ett historiskt misstag är strömmens riktning motsatt elektronernas rörelseriktning.

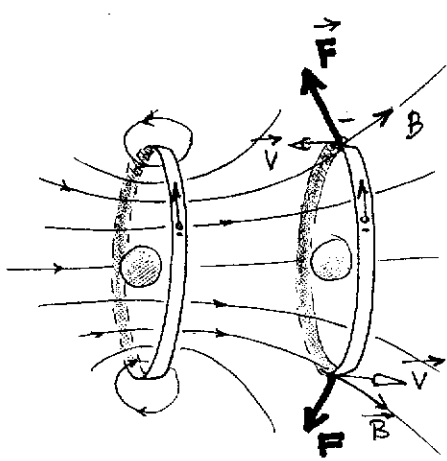
Men det finns väl inga strömmar i en permanentmagnet?



Varje atom kan betraktas som en liten magnet vars fält skapas av elektronernas banrörelse runt kärnan. I en permanentmagnet är dessa mini-magneter parallella.

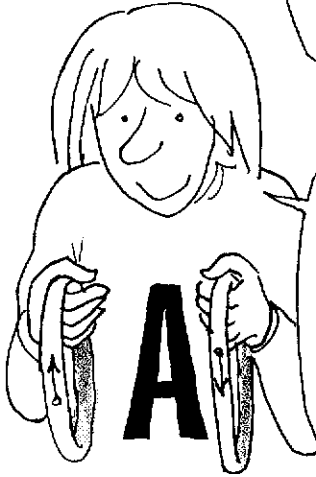
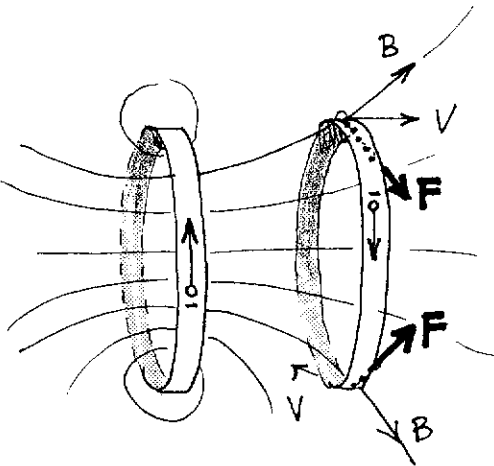


Magneterna verkar på laddningar i rörelse när dessa korsar fältlinjerna. Men varför påverkar magneter varandra?



Om jag riktar två spolar mot varandra, med strömmar som går i samma riktning, känner elektronerna av en kraft som tenderar att

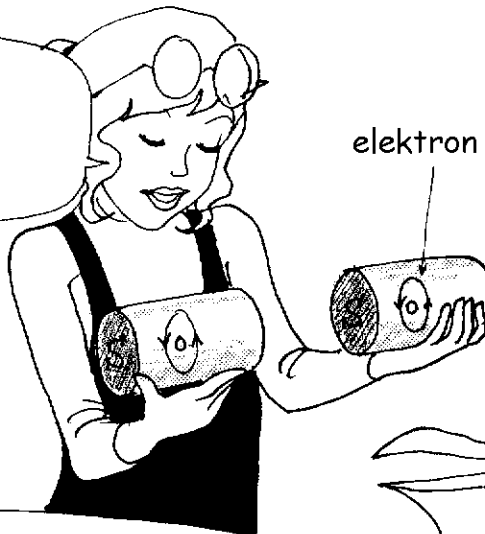
- pressa isär lindningen i varje spole
- dra spolarna mot varandra



Om jag kastar om strömriktningen i den ena spolen kommer lorentzkraften att:

- dra ihop lindningarna
- trycka isär spolarna

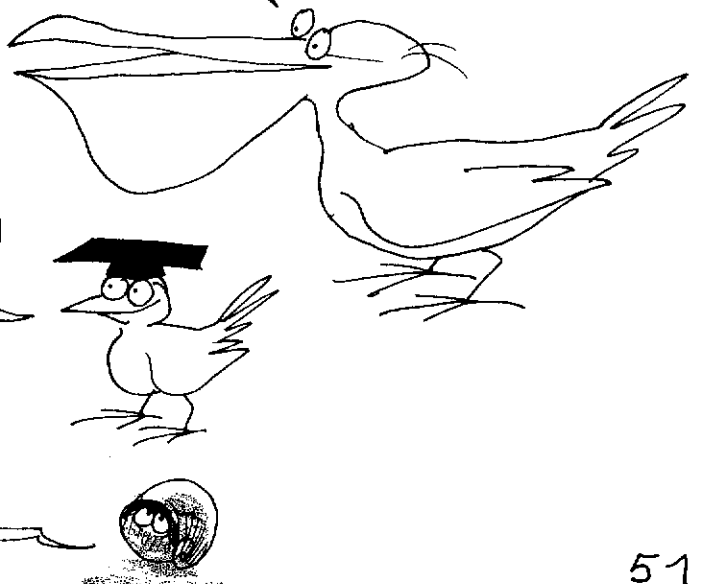
Ungefär som med atomerna i två magneter.



Men enligt din ritning känner en spole inte av ett likformigt magnetfält som är parallellt med dess axel?

På samma sätt som en stavmagnet inte känner av ett likformigt magnetfält som är parallellt med dess axel.

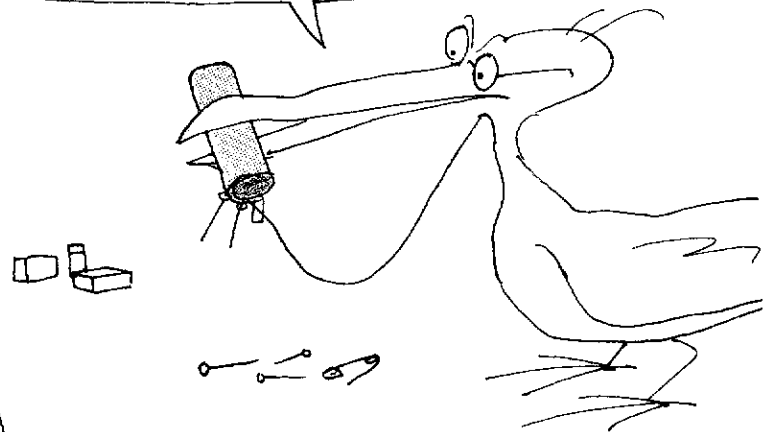
Logiskt, annars skulle det räcka med att hålla en kompass för att röra sig.



Men en spole i ett magnetfält försöker vrida sig så att dess fält är parallellt med det omgivande. Detta är principen för vridspolegalvanometern. En kompass är inget annat än ett stort antal mikroskopiska galvanometrar.

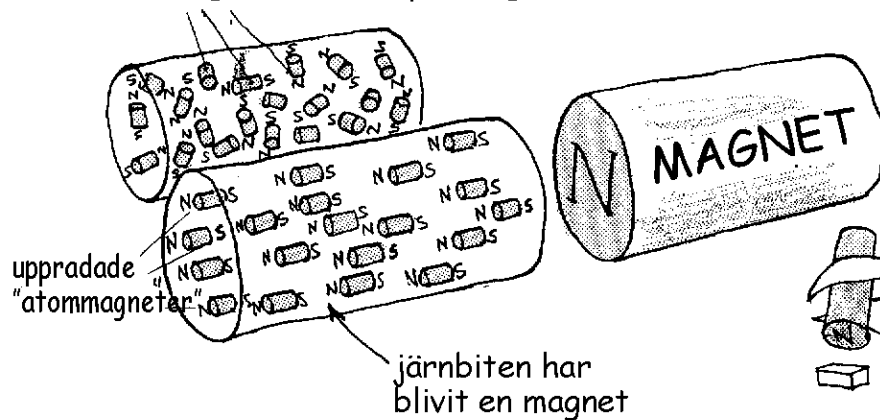


Fint. Men kan någon förklara varför en magnet drar till sig järn men inte bly eller socker?



Enkelt: järnatomer är små magneter. De har också en viss rörlighet. När ett tillräckligt starkt externt magnetfält föreligger, radar de små magneterna upp sig och järnbiten blir en magnet som försöker vrida sig i fältets riktning.

"Atommagneter" (slumpmässigt riktade)

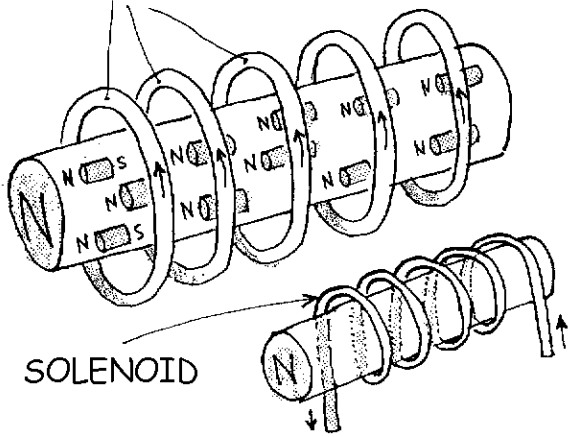


järnbiten har blivit en magnet

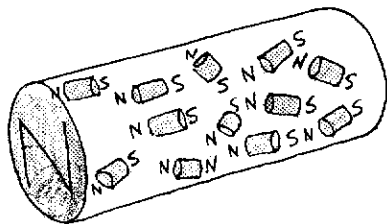
Med sockret går det inte



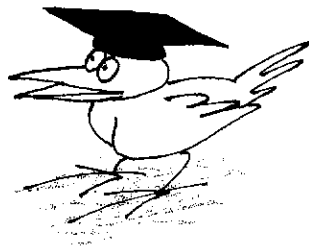
SPOLAR



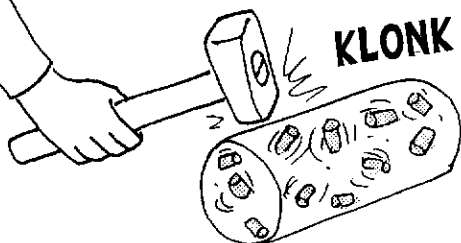
Nu förstår jag varför  
ELEKTROMAGNETER har en  
JÄRNKÄRNA. Den förstärker  
magnetfältet som spolen  
genererar.



När permanentmagneten eller  
spolen avlägsnas, behåller järnets atomer  
delvis sin orientering. En **REMANENT  
MAGNETISM** kvarstår.



Den kan avlägsnas genom att  
atomernas rörlighet ökas, till exempel genom  
att järnet upphettas, ges ett slag, eller placeras  
i ett föränderligt magnetfält, som när jag  
avmagnetiserade TVns bildskärm.

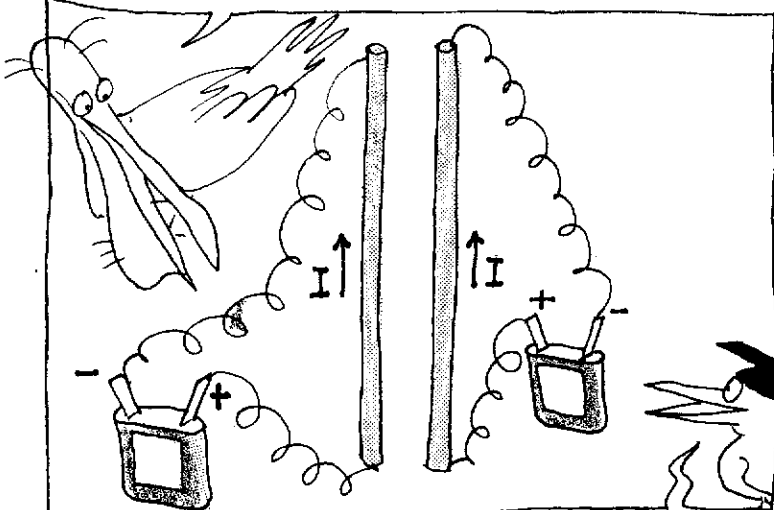


Jag tror jag förstår: magnetfältet är något man infört för att beskriva hur laddningar I RÖRELSE växelverkar, och denna elektrodynamiska eller elektromagnetiska kraft generaliserar den elektrostatiska kraften.



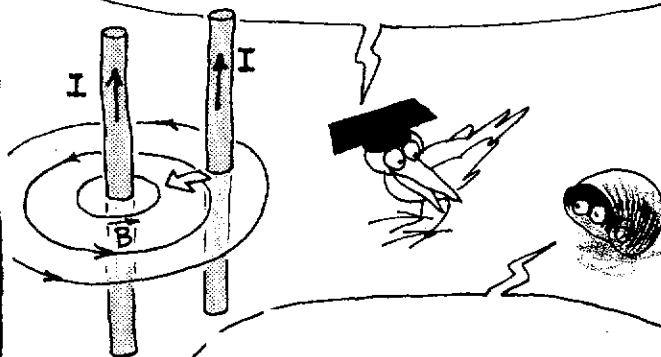
# RELATIVITET IGEN

Hur kan man mäta magnetfält så objektivt som möjligt?

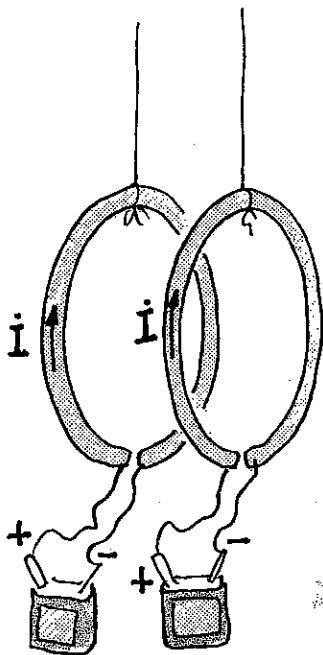


Tja, man kan arrangera två ledare parallellt och låta samma ström  $I$  flyta genom båda.

Under sådana omständigheter attraherar ledarna varandra.



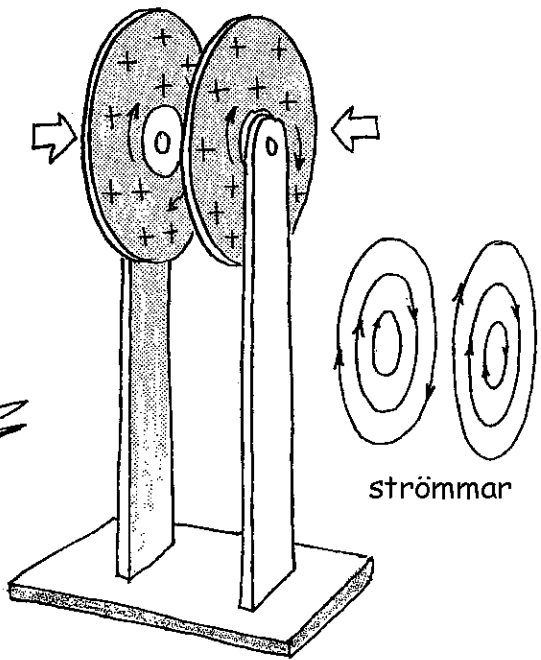
Varje stång kombinerar sitt fält med den andra stångens.



Man kan kröka stängerna till spolar, som attraherar varandra om strömmarna genom dem är parallella.



som vi såg redan på sida 51

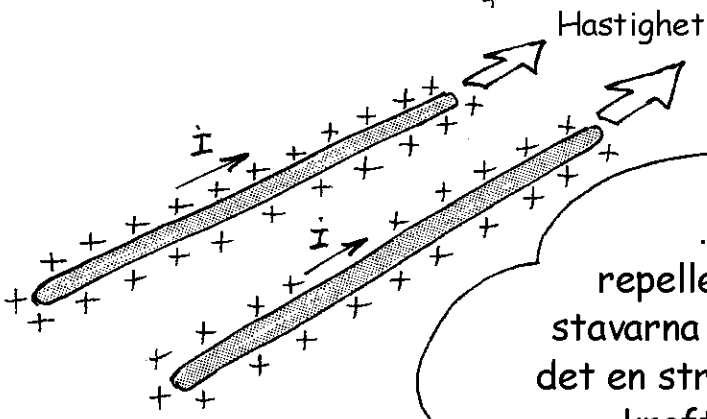


På samma sätt kan man ge två parallella skivor laddning av samma tecken och rotera dessa. Det är samma sak som en ström, och en elektromagnetisk kraft uppstår.



Titta på den där...

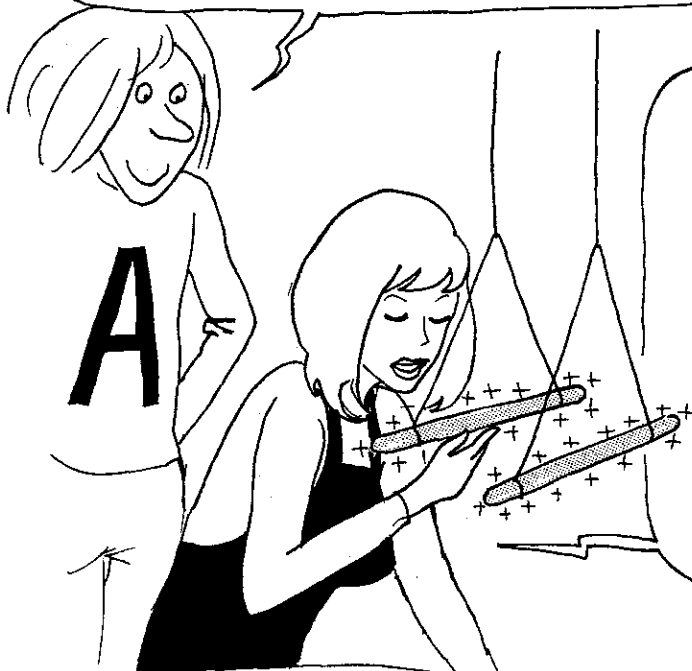
Jag ladda två glas- eller bakelitstavar genom att gnugga dem med en linneduk...



... lika laddningar repellerar varandra, men om stavarna rör sig så här motsvarar det en ström, och en svag attraktiv kraft uppstår.



Jorden rör sig kring solen, som i sin tur rör sig inom Vintergatan med en hastighet av 234 km/h. Fantastiskt, Sophie: genom att hålla dessa parallella, laddade stavar i någon riktning och mäta kraften mellan dem, borde vi kunna bestämma vår hastighet genom universum!



Du kommer inte att bestämma ett dugg. Den **ELEKTROMAGNETISKA KRAFTEN**, som uppstår vid rörelse, är omärklig för en observatör som är i vila relativt laddningarna. Vad än vår hastighet relativt solen eller Vintergatan är, är den samma som för stavarna.

Elektromagnetismen är väsentligen relativistisk.



Experimentet Anselm föreslog påminner om MICHELSONS (\*) experiment i 1900-talets början. Han mätte ljusets hastighet i alla riktningar i syfte att bestämma jordens absoluta rörelse, men kammade noll.

Jag är inte direkt förvånad, givet att ljus är en elektromagnetisk vågrörelse.




(\*) MICHELSON, amerikansk fysiker, nobelpristagare 1907.





Så ett vanligt hushåll  
innehåller relativistiska  
fenomen!




Här är en pryl som  
uppenbarligen är elektrisk,  
men inget snurrar och det  
finns inga elektroder.

Vad gör  
den?

Tirésias,  
kom ut därifrån!

Varför?



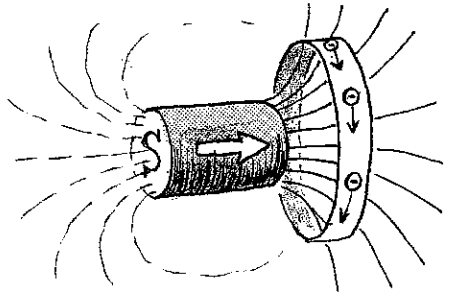
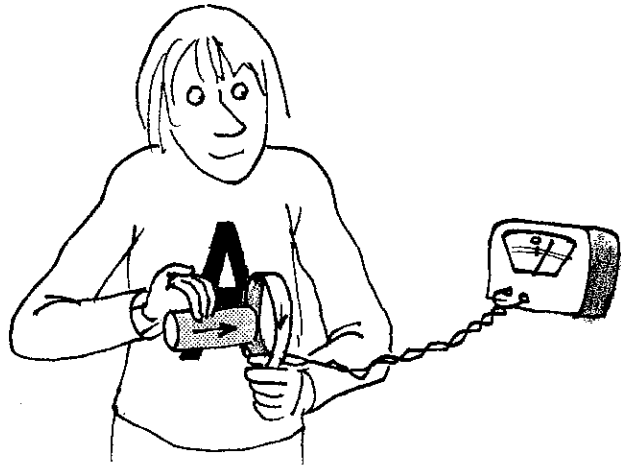
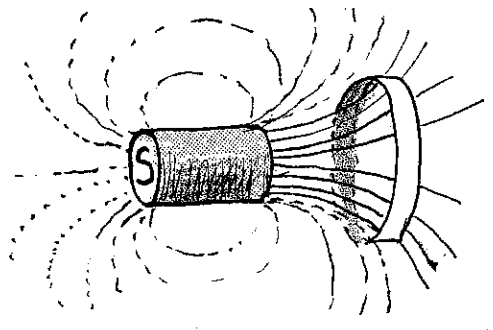
Det där systemet överför energi på avstånd.  
Om det hade slagits på, hade du blivit kokt genom induktion.

Kokt genom induktion?

# INDUKTION



Se här:  
Anselm har satt en kopparring nära en permanentmagnet. Vissa fältlinjer går genom ringen, andra utanför.

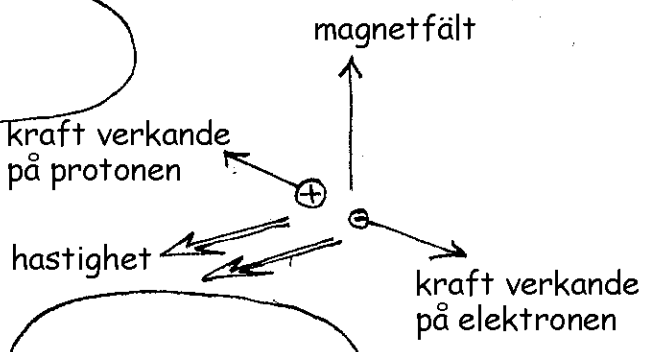


Nu för han samman magneten och ringen, det vill säga flyttar knippet av fältlinjer. När de passerar ringen verkar en elektromagnetisk kraft på elektronerna, och en ström **INDUCERAS**.

Om magnet och ring är i vila relativt varandra, flyter ingen ström.



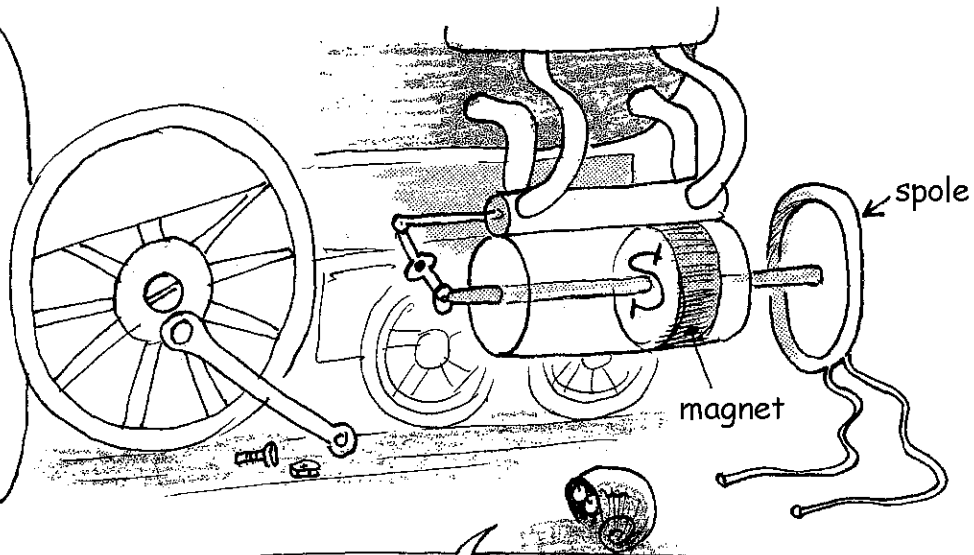
Om du drar isär dem, flyter strömmen åt andra hållet.



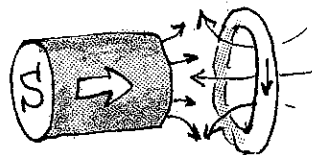
Ännu en tillämpning av **LORENTZ lag**.



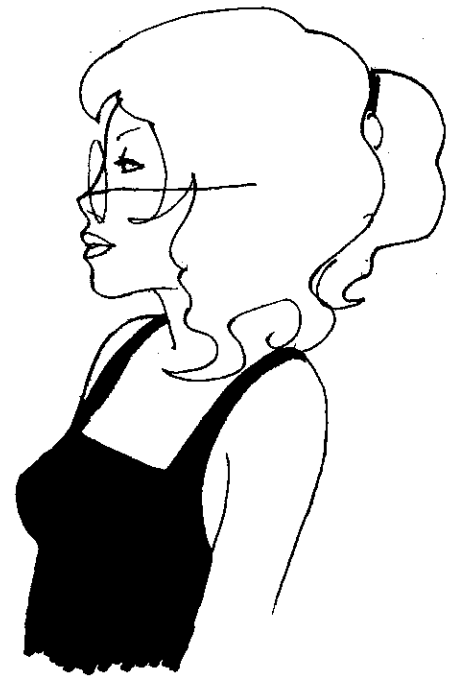
Kolla, Tirésias,  
jag har byggt om en  
ångmaskin genom att  
ersätta pistongen med  
en magnet, som rör  
sig fram och åter  
och genererar en  
**VÄXELSTRÖM**  
i spolen



Om bara pistongen kunde glida utan friktion,  
hade vi en metod att generera gratis energi,  
bortsett från jouleeffekten såklart

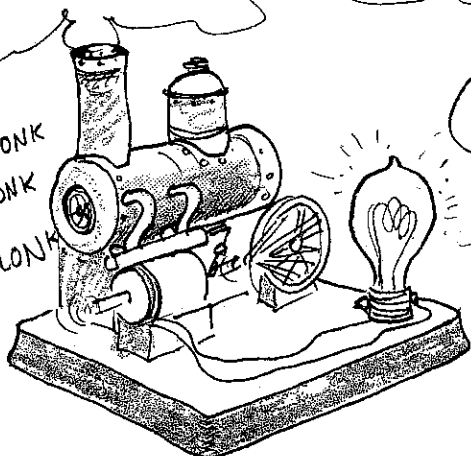


Du glömmer att strömmen  
i spolen i sin tur skapar ett  
magnetfält, som motverkar  
magnetens rörelse (LENZ lag).  
Så du måste utföra ett **ARBETE**  
för att få ut energi.



Så här är vår första  
växelsströmgenerator.

PATAKLONK  
PATAKLONK  
PATAKLONK



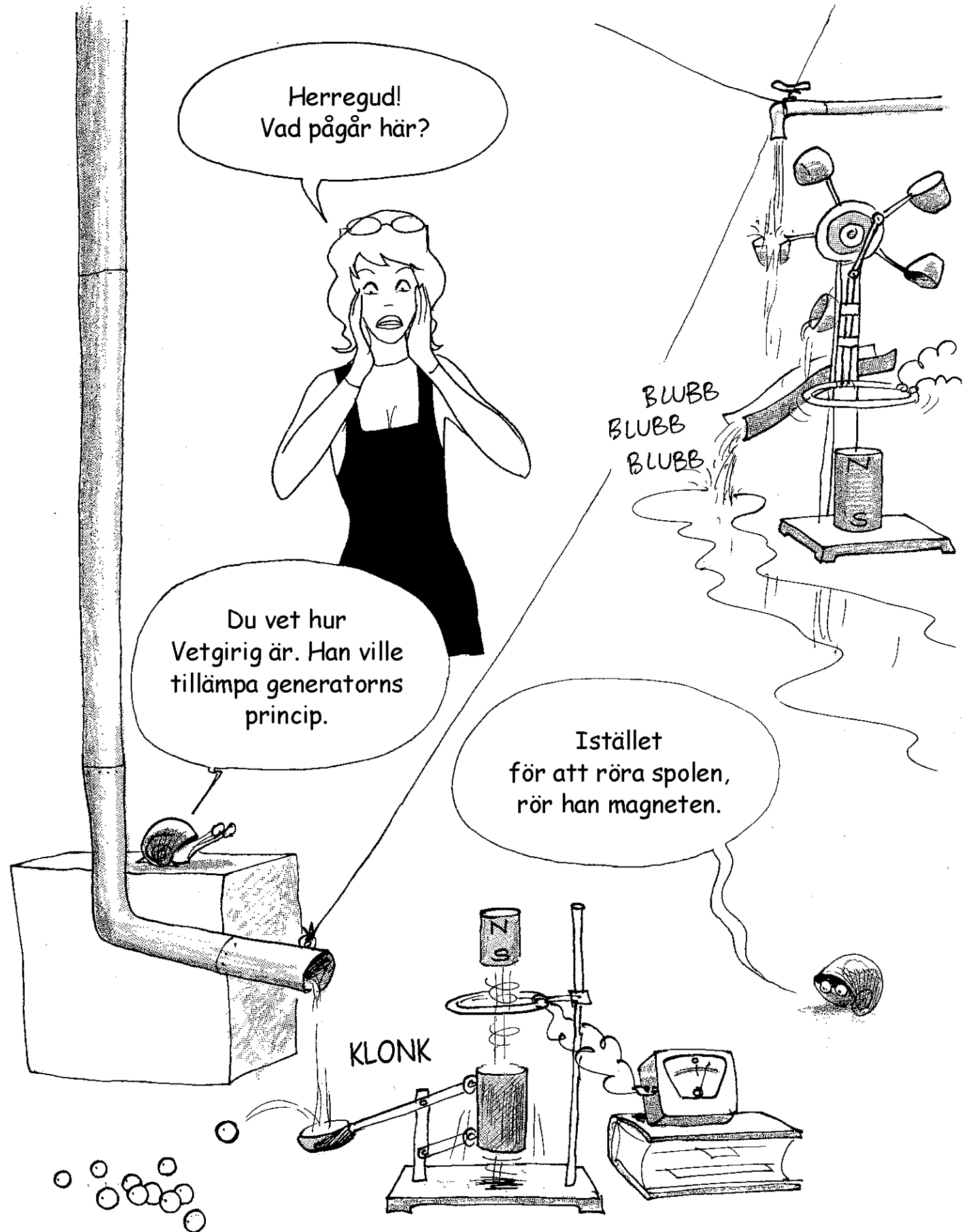
Herregud!  
Vad pågår här?

Du vet hur  
Vetgirig är. Han ville  
tillämpa generatorns  
princip.

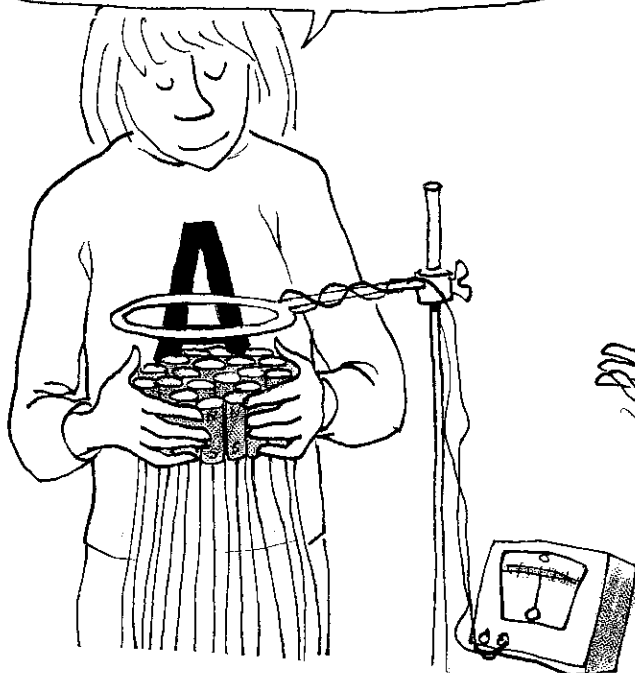
Istället  
för att röra spolen,  
rör han magneten.

BLUBB  
BLUBB  
BLUBB

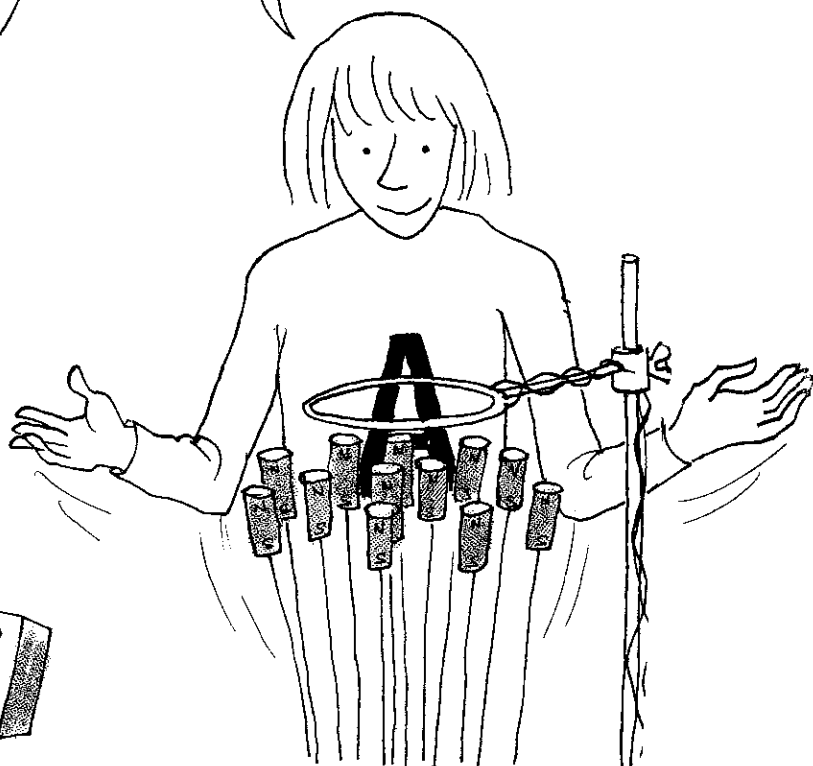
KLONK



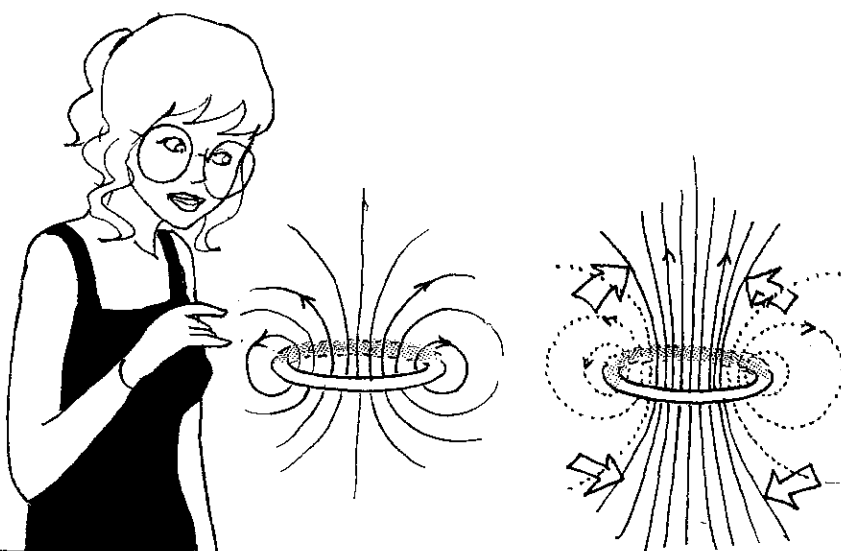
Nu när vi vet hur man genererar växelström, vad tror ni om min KVIST-GENERATOR? Jag har fäst magneter vid böjliga kvistar...



... och när jag släpper dem, gungar de fram och tillbaka, och genererar en växelström i spolen.

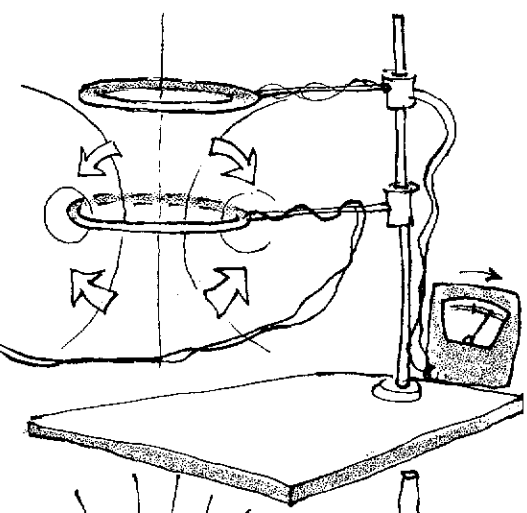


Jaha. Maskinen omvandlar mekanisk energi i kvistarna till elektricitet, och sedan?



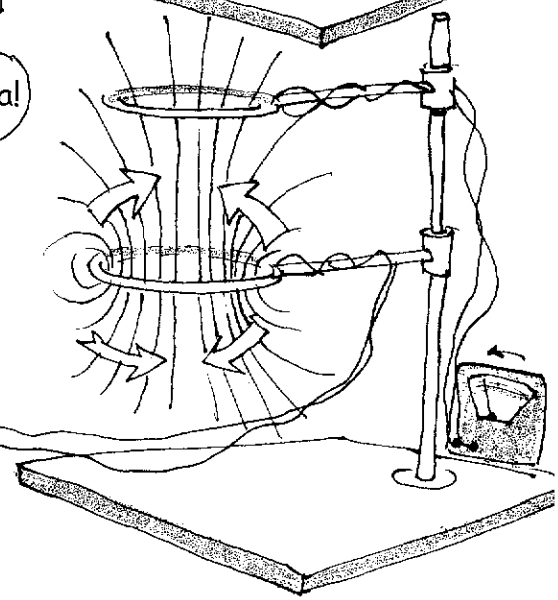
Den åskådliggör vad som händer när strömmen genom spolen ökar. Det är som om nya fältlinjer skapas, som trycker samman de gamla.

Och omvänt.  
När strömmen avtar  
tunnas fältet ut och  
knippet breder  
ut sig.



Hoppla!

På så sätt kan en spole matad  
med växelström överföra energi  
till en annan spole.



# DIELEKTRISK UPPVÄRMNING

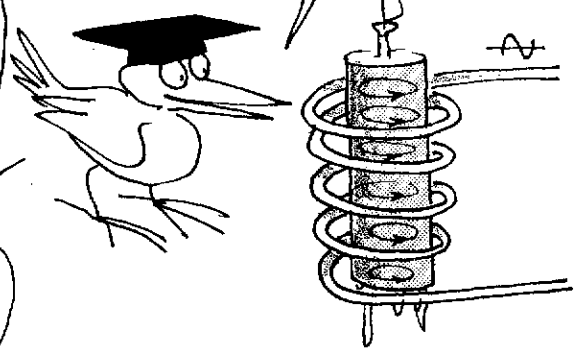
Till vilken nytta?

Solenoid

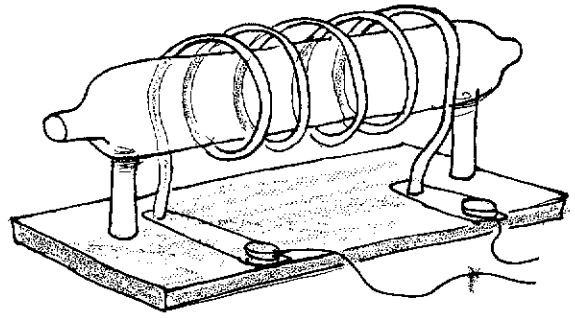
Man kan också  
värma en ledare.  
Inuti skapas virvlar  
av ström.

Det är ett effektivt  
sätt att värma saker.  
Med en ring på fingret kan  
man bränna sig, om ringen  
omges av ett föränderligt  
magnetfält.

Vi kan  
smälta tackor



Vi kan också värma en gas med en lindning som matas med högfrekvent ström.



Kort sagt, vi kan värma eller koka vad som helst som leder elektricitet tillräckligt väl...

Vad är grejen med den här lilla lådan?

... inklusive sniglar!

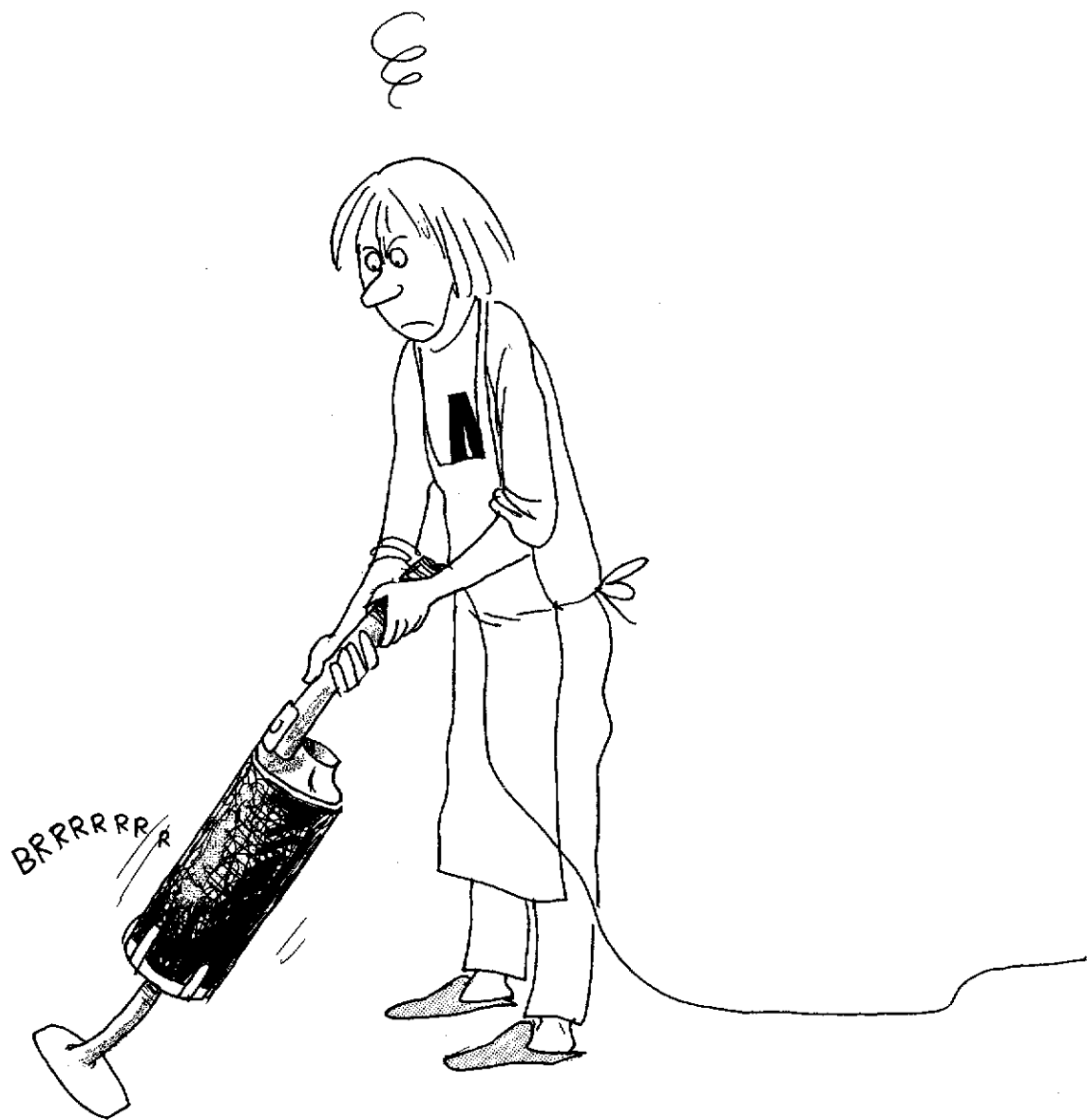
# EPILOG

Den här resan genom elektromagnetismen var spännande.

Vem kunde ana att en vanligt hushåll rymmer så många viktiga vetenskapliga problem?

Jag har ännu ett experiment att föreslå, som involverar elektromagnetism och fluidmekanik

Fint, låt höra?



**SLUT**