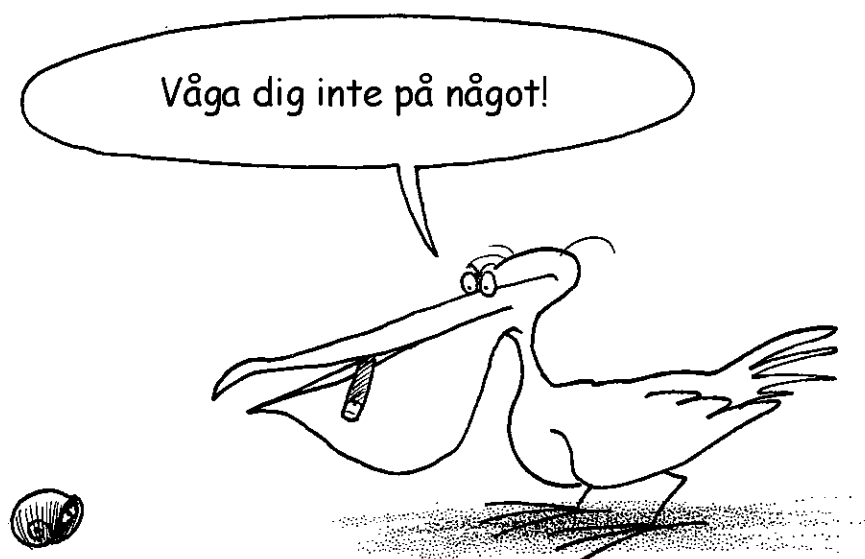
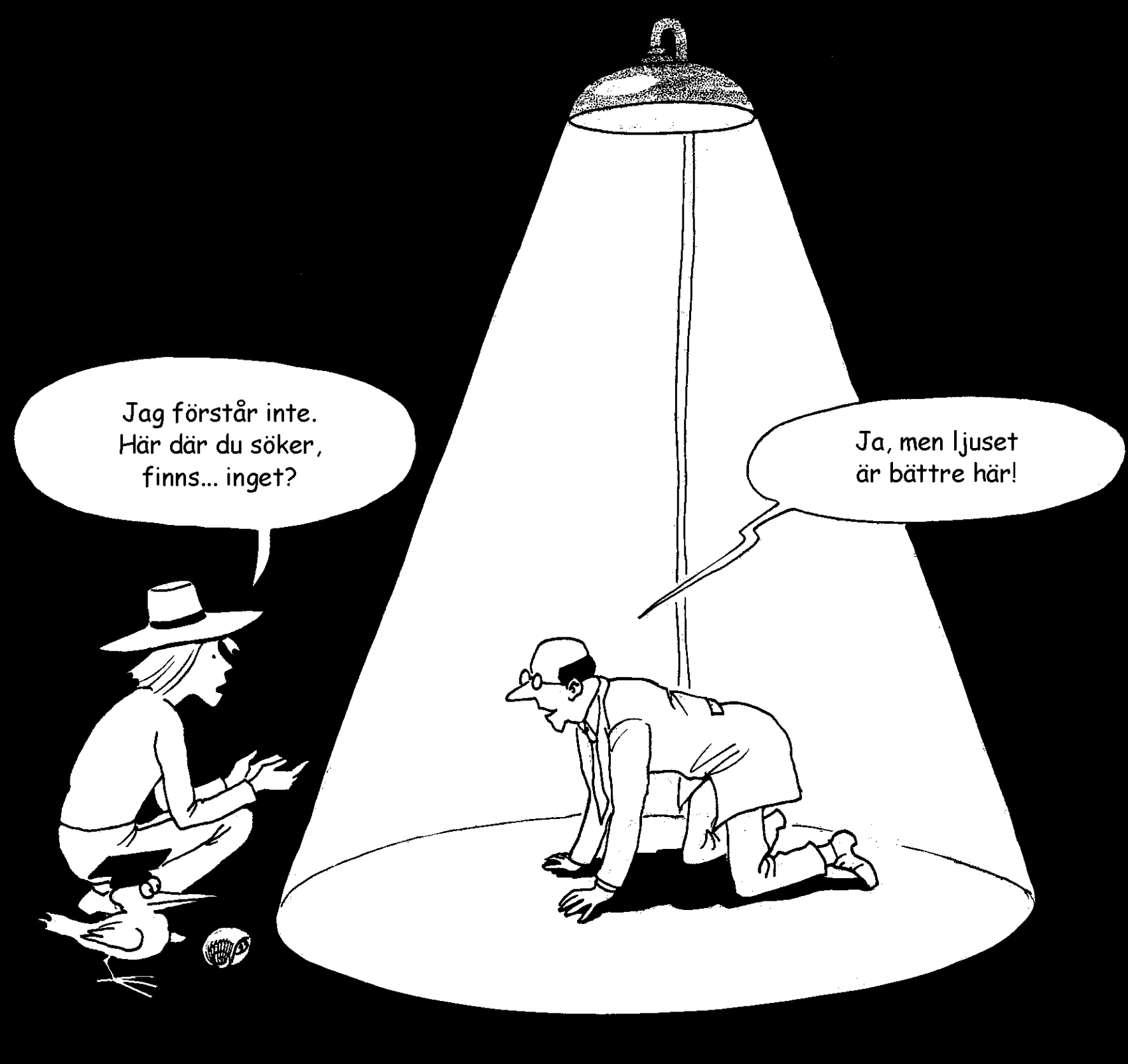


TYSTNADSVALLEN

Jean-Pierre Petit



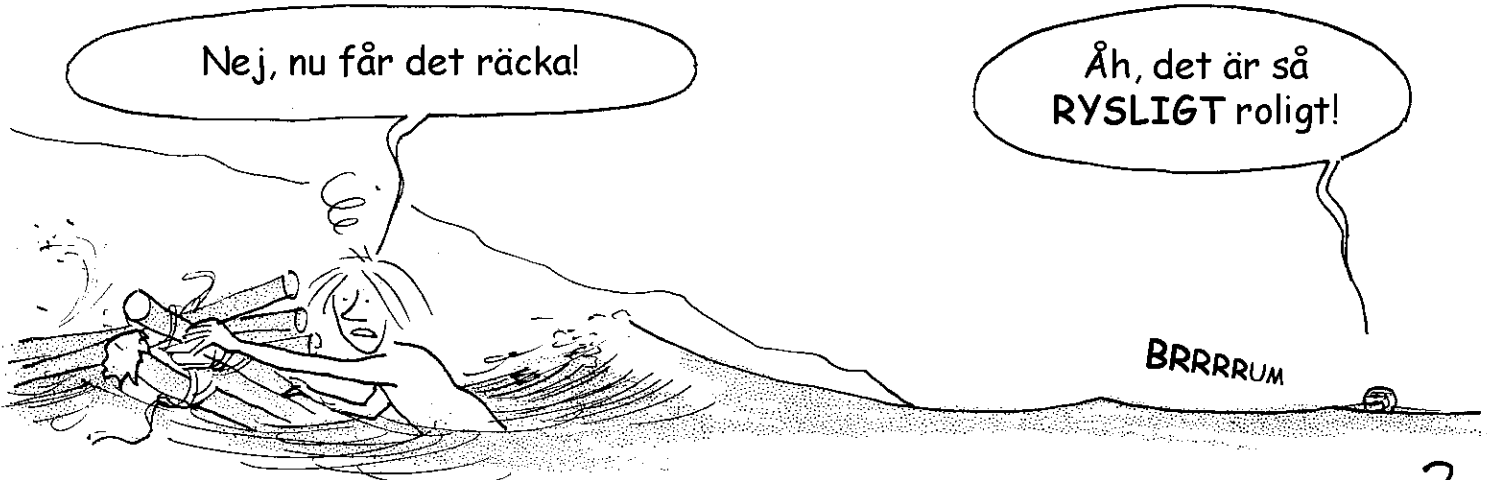
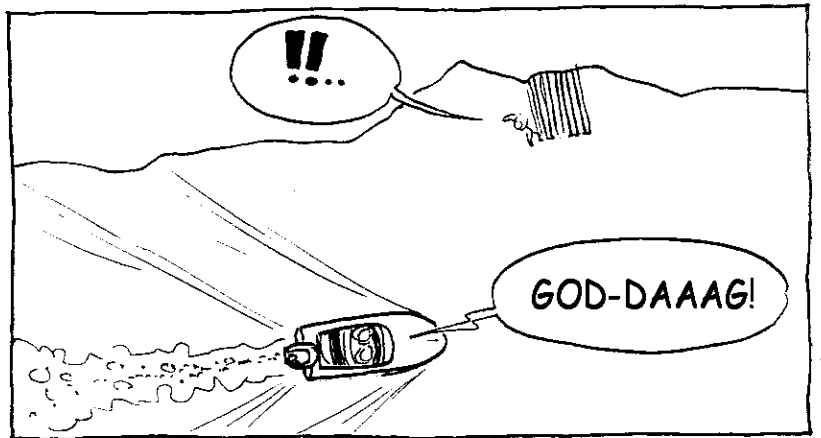
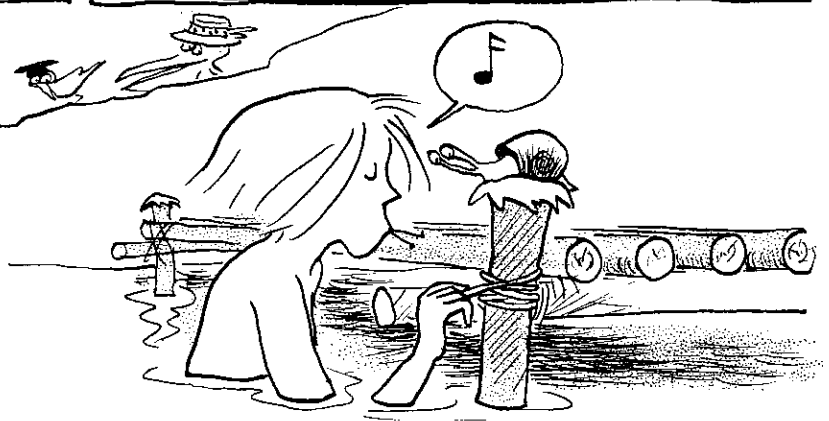
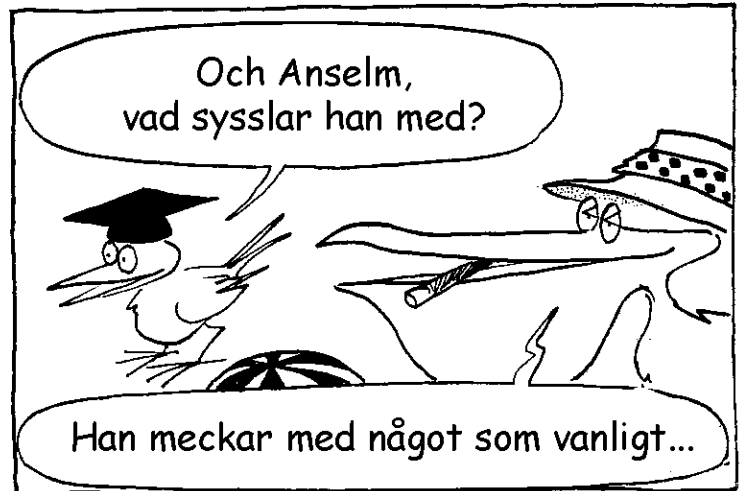
Översatt av Jonas Karlsson

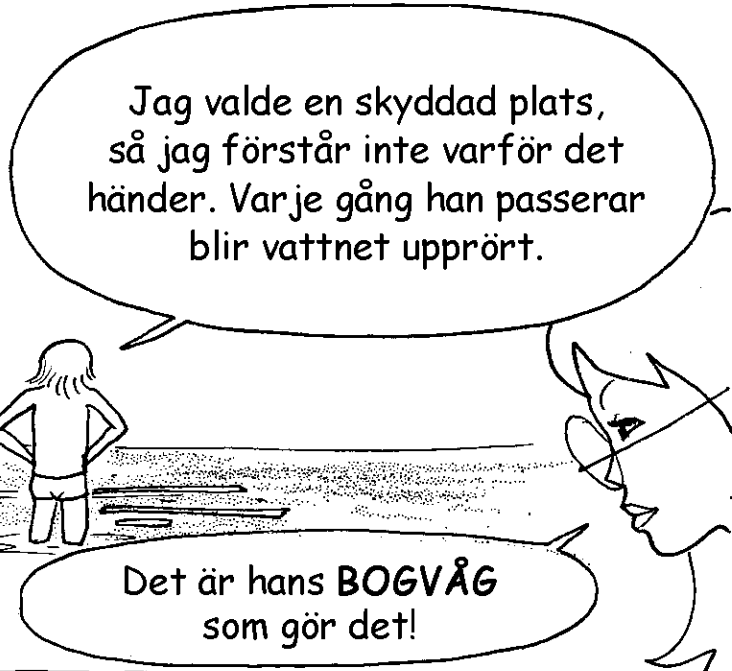


Jag förstår inte.
Här där du söker,
finns... inget?

Ja, men ljuset
är bättre här!

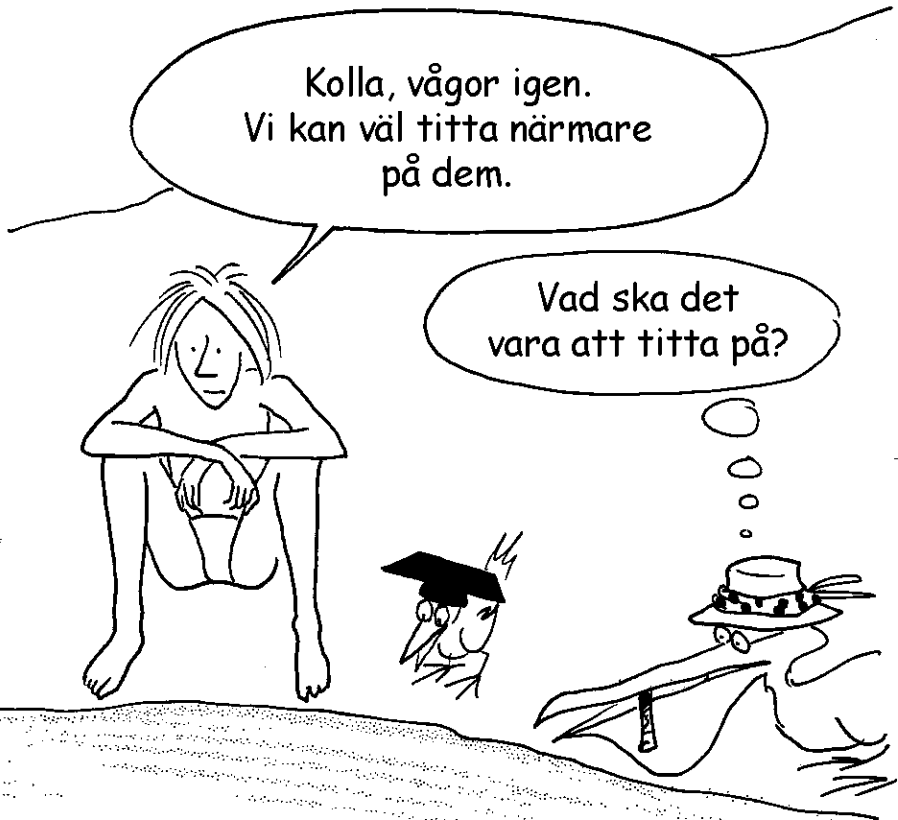
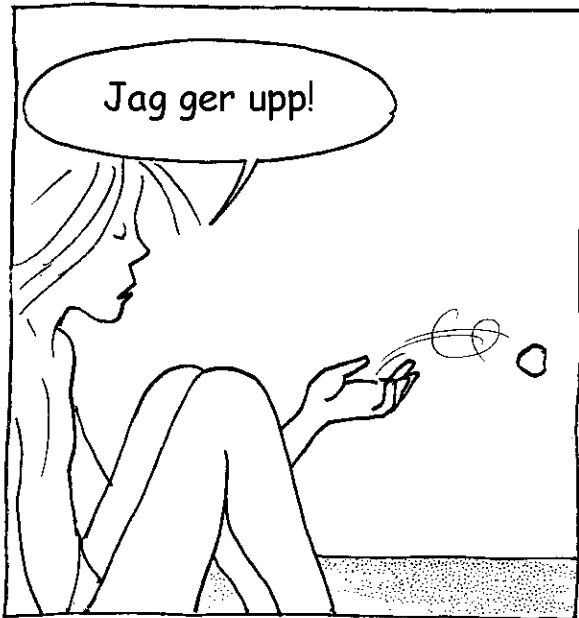
PROLOG





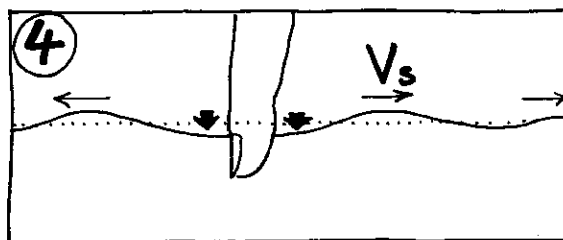
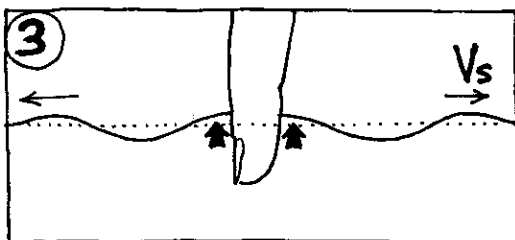
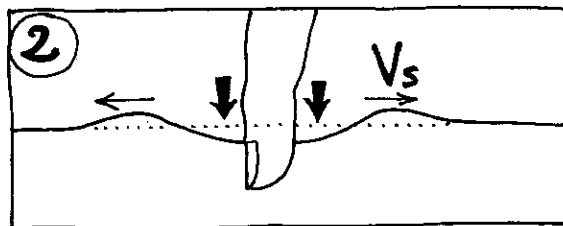
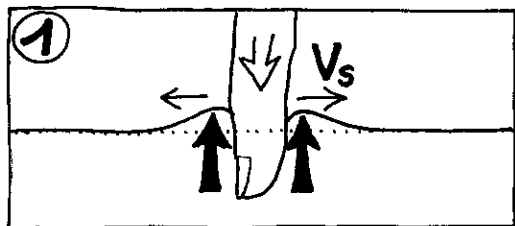
Bogvåg hit och bogvåg dit. Bryggan är i vart fall kaputt!

YTVÅGOR

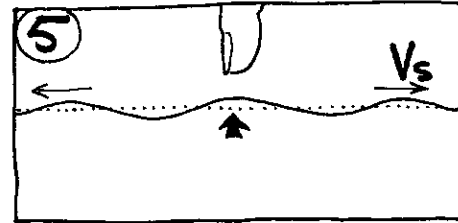
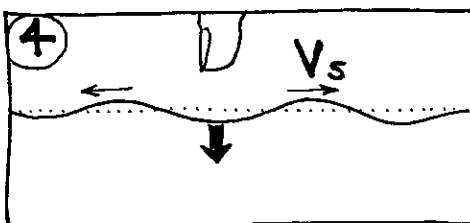
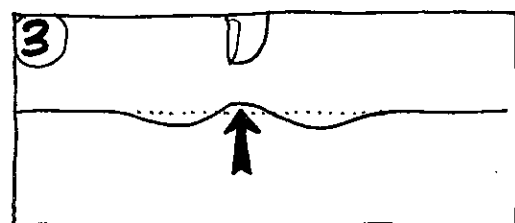
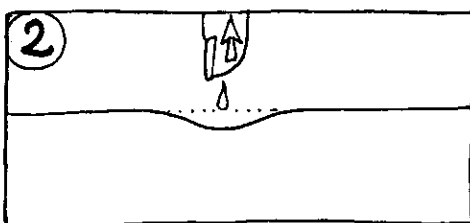
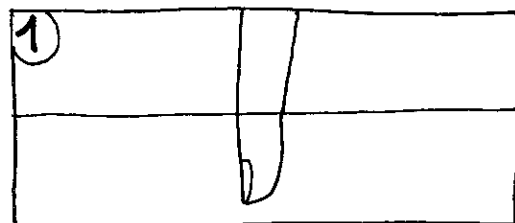




Om jag sticker ner fingret hastigt, tränger jag undan vatten och skapar en upphöjning i ytan. Upphöjningen ger upphov till vågor som sprids i cirklar, **YTVÅGOR**. De rör sig med en konstant hastighet som jag kallar V_s .

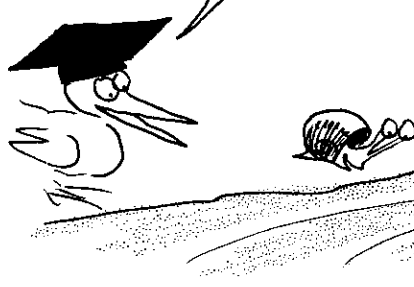


Samma sak händer när jag rycker upp fingret. I båda fallen försöker den **FRIA VATTENYTAN** återgå till sitt plana tillstånd.



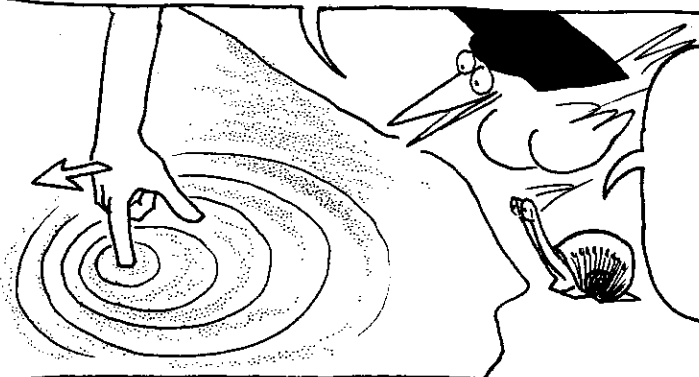
Det kallar jag badkarsfysik.

När vågorna fortplantar sig, sprids energin över en växande yta.



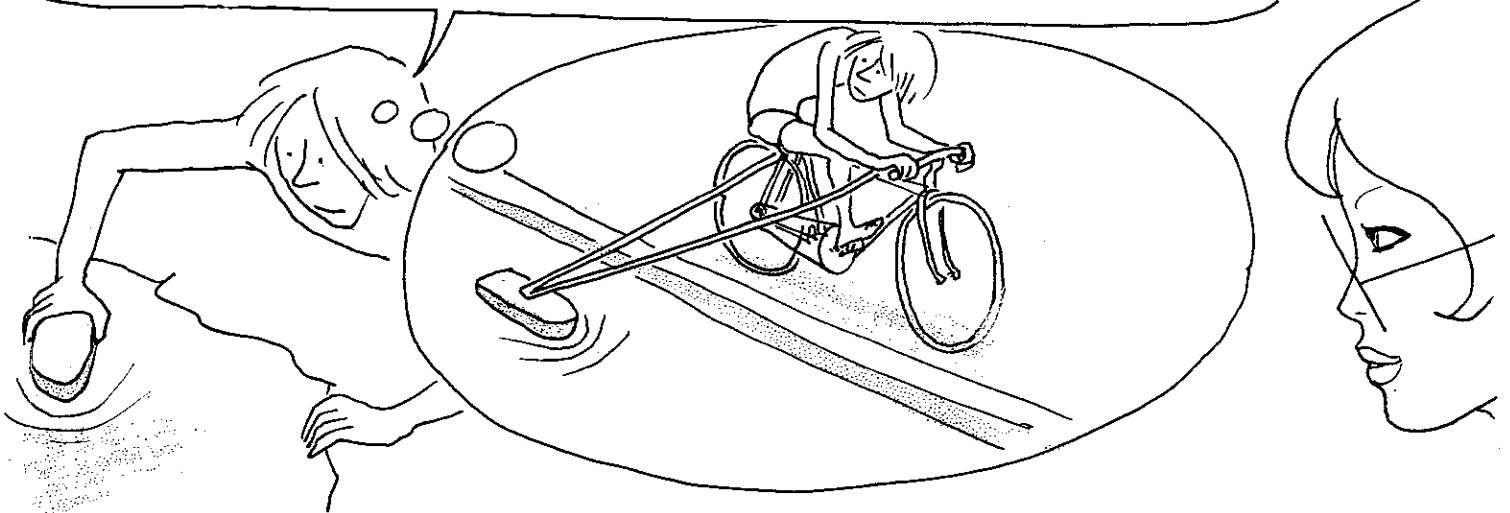
Och eftersom energin är bevarad, måste vågornas höjd - **AMPLITUD** - avta.

När en kropp rör sig genom vatten, avges sådana vågor, och vattenytan återgår efterhand till sitt **JÄMVIKTSLÄGE**.

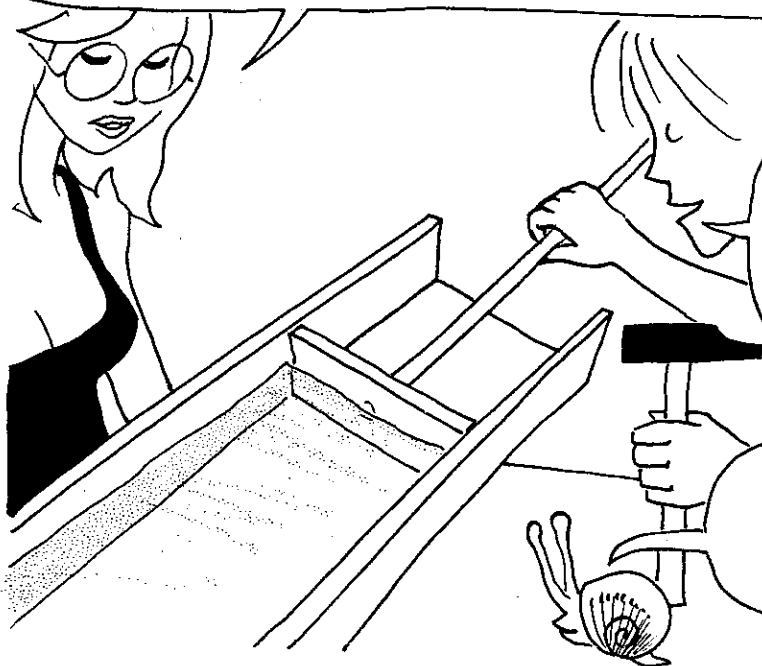


Vågorna verkar på vätskan och förflyttar molekylerna. Kroppen gör sig känd redan innan den anländer.

För att se närmare på vad som händer vore det bra att kunna följa vågorna i deras rörelse.



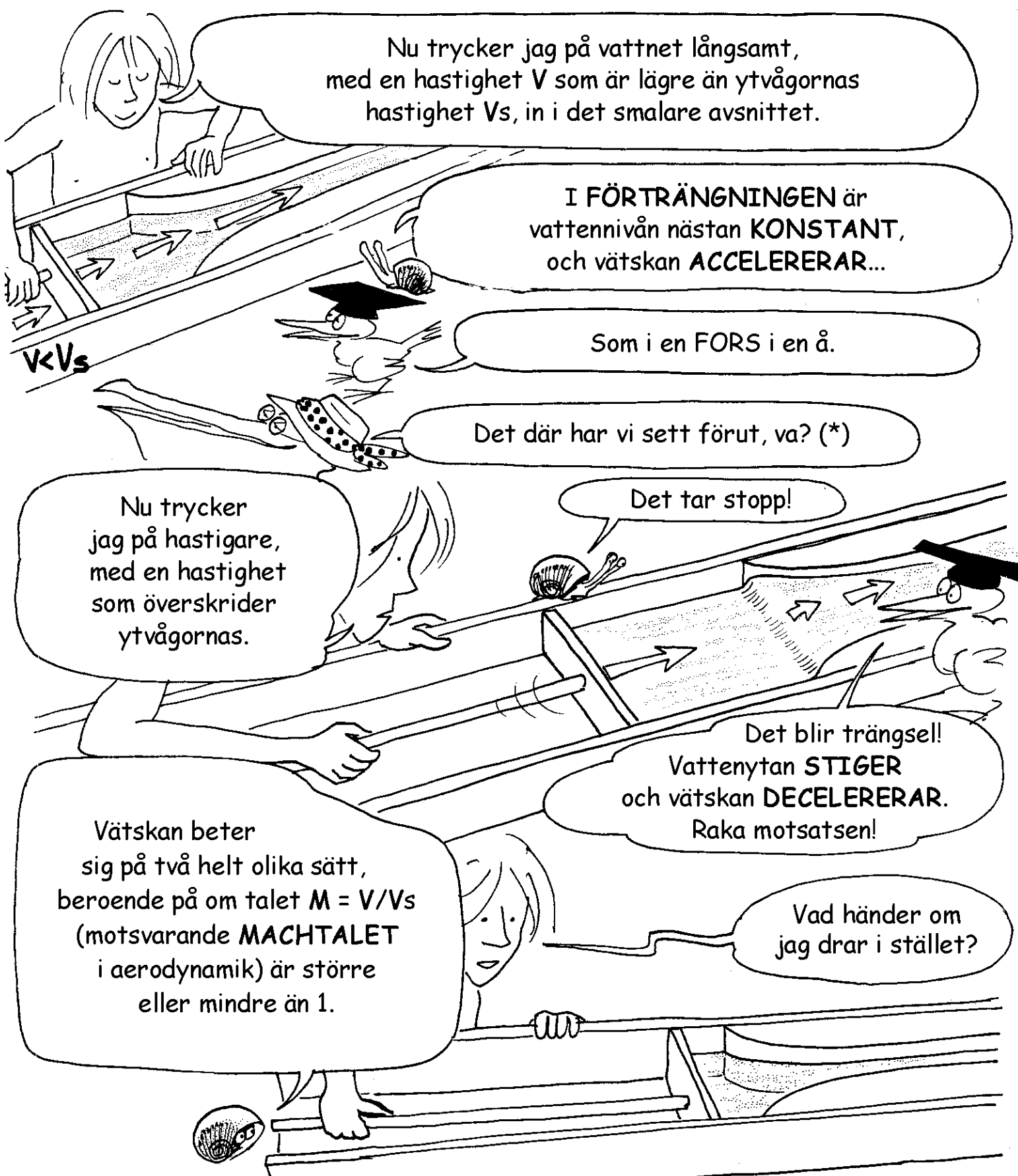
Varför krångla till det? I stället för att röra kroppen, kan du hålla den stilla och låta vätskan röra sig.



Bra idé. Jag har byggt ett slags kanal, med en kolv i änden för att sätta vattnet i rörelse.

Alldeles framför kolven får vattnet samma hastighet V som kolven själv.

HUGONIOTS RELATION



Nu trycker jag på vattnet långsamt, med en hastighet V som är lägre än ytvågornas hastighet V_s , in i det smalare avsnittet.

I FÖRTRÄNGNINGEN är vattennivån nästan **KONSTANT**, och vätskan **ACCELERERAR**...

Som i en FORS i en å.

Det där har vi sett förut, va? (*)

Nu trycker jag på hastigare, med en hastighet som överskrider ytvågornas.

Det tar stopp!

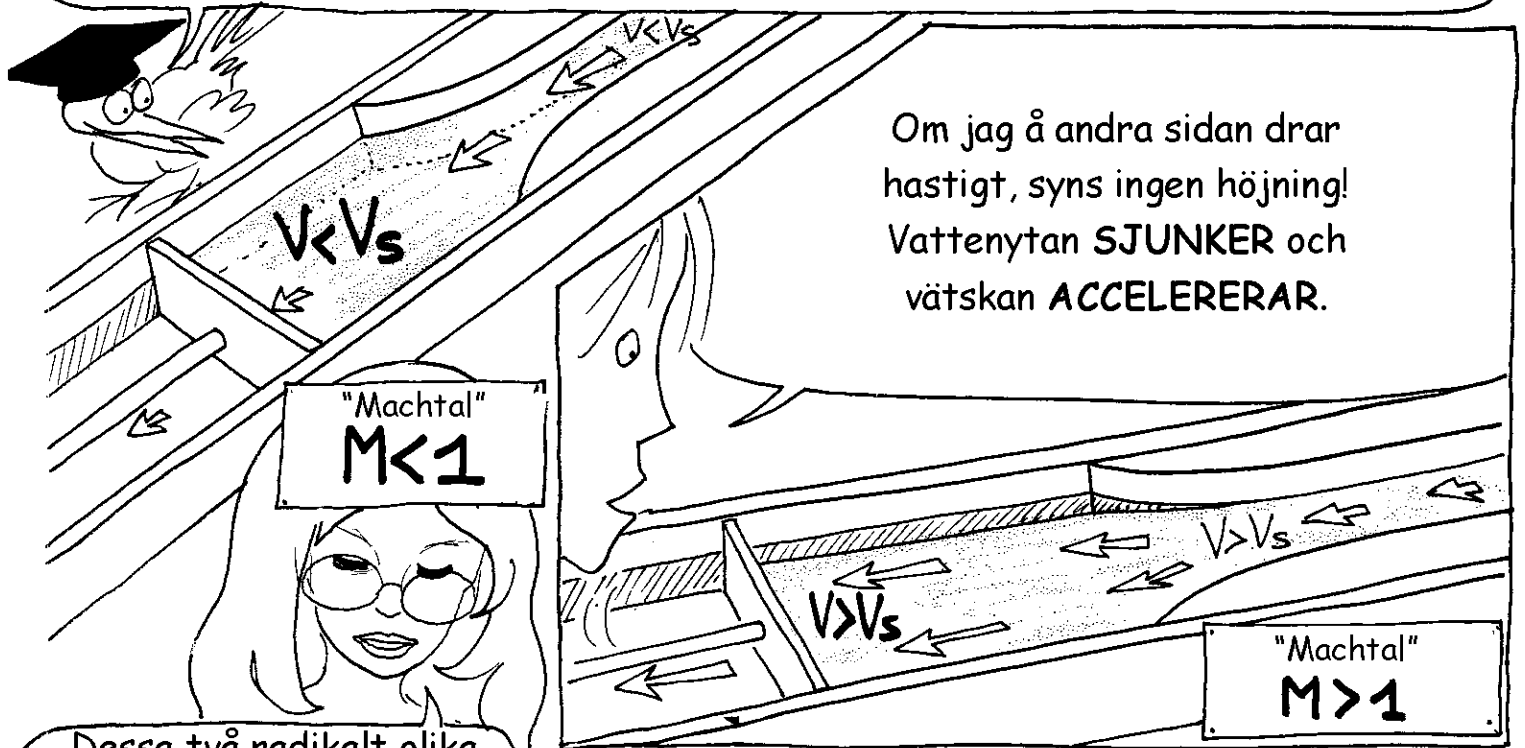
Det blir trängsell! Vattenytan **STIGER** och vätskan **DECELERERAR**. Raka motsatsen!

Vätskan beter sig på två helt olika sätt, beroende på om talet $M = V/V_s$ (motsvarande **MACHTALET** i aerodynamik) är större eller mindre än 1.

Vad händer om jag drar i stället?

(*) Se **SUG- OCH BLÅSDRIFT** av samme författare.

Om du drar långsamt, så att vattenmassans hastighet är lägre än ytvågornas, så **DECELERERAR** vattnet där kanalen breddas, och vattendjupet är nästan konstant.



Dessa två radikalt olika beteenden sammanfattas i följande tabell. Sambandet är uppkallat efter den franske fysikern HUGONIOT.

<i>Hugoniot</i>	Hastigheten V LÄGRE än ytvågornas hastighet V_s (Machtal $M < 1$)	Hastigheten V HÖGRE än ytvågornas hastighet V_s (Machtal $M > 1$)
Kanalen blir SMALARE Vätskan: Djupet:	ACCELERERAR FÖRBLIR DETSAMMA	SAKTAR IN STIGER
Kanalen blir BREDARE Vätskan: Djupet:	SAKTAR IN FÖRBLIR DETSAMMA	ACCELERERAR SJUNKER

Låt se nu. Ju fortare det går, desto mindre ökar farten... mer eller mindre... eller nä, tvärtom?

Hi Hi Hi...

Pust! Det är tungt att driva på vatten med handkraft.
Jag får lov att hitta på något bättre...

Ett genidrag! Genom
att ändra lutningen kan jag styra
vattnets hastighet V .

Vänta nu, det här
är en annan femma!

Inte alls, det är
precis samma sak.

Här **BREDDAS**
kanalen. Under den **KRITISKA**
HASTIGHETEN V_s saktar
vätskan in, och vattendjupet
är nästan konstant.

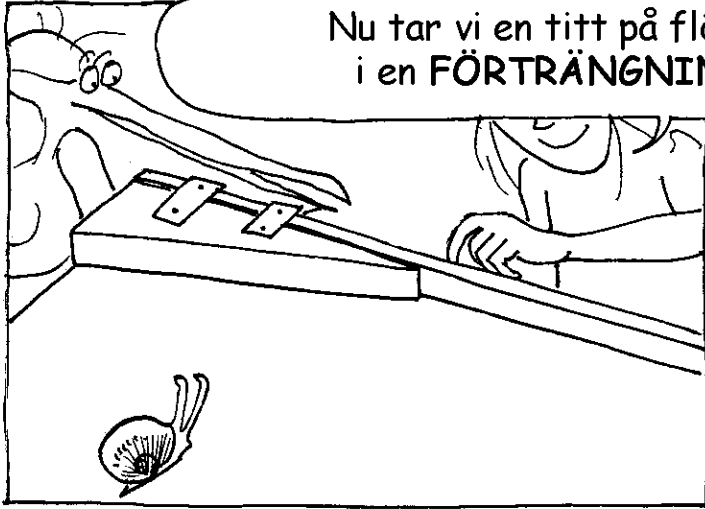
Om vätskan ankommer med
en hastighet V som är **HÖGRE** än
den kritiska hastigheten V_s , **SJUNKER**
vattenytan och vattnet accelererar.

Hastigheten V
LÄGRE än
YTVÅGORNAS
hastighet V_s .
Machtal
 $M < 1$.

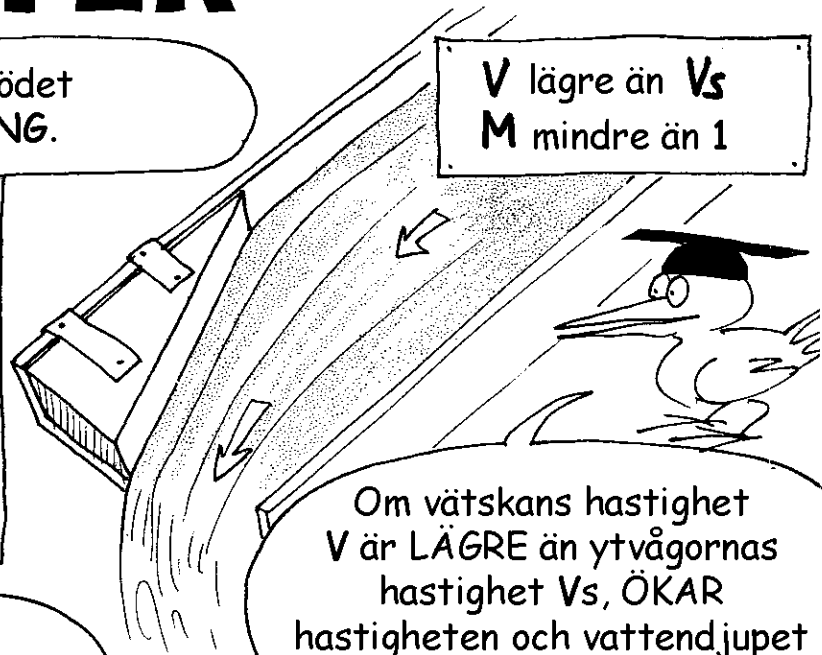
Machtal
 $M > 1$.

VÅGFRONTER

Nu tar vi en titt på flödet i en FÖRTRÄNGNING.

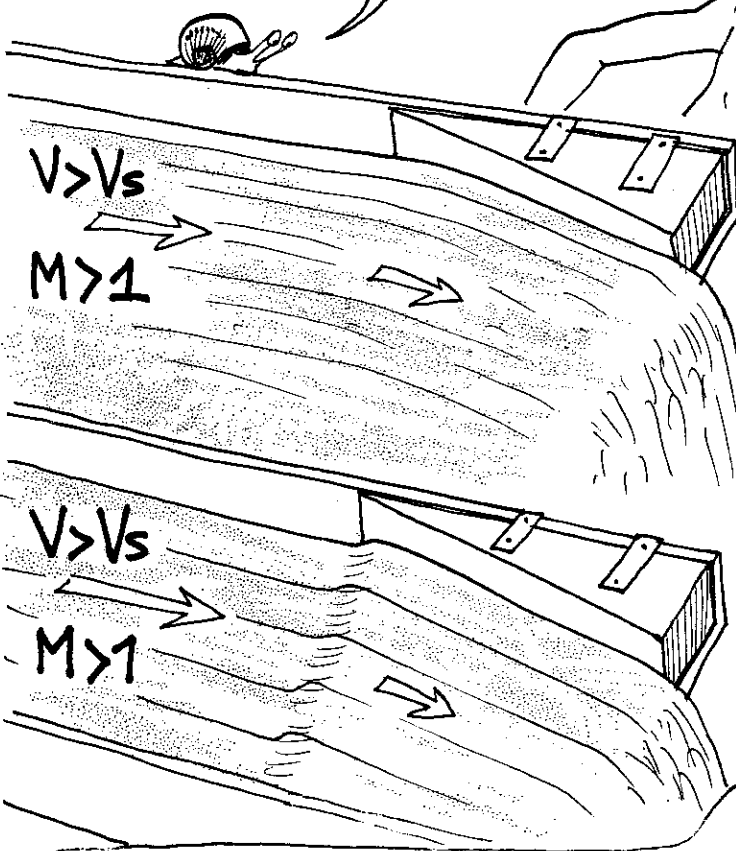


V lägre än V_s
 M mindre än 1



Om vätskans hastighet V är LÄGRE än ytvågornas hastighet V_s , ÖKAR hastigheten och vattendjupet är konstant.

Men om V är HÖGRE än V_s , STIGER vattenytan och vätskan saktas in.

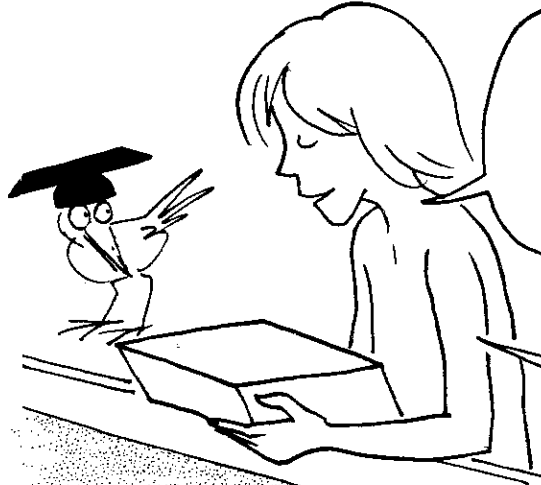


Ös på, Anselm, vicka kanalen lite mer så vi får se vad som händer...



Vätskans parametrar ändras dramatiskt när kanalens profil ändras. Vid VÅGFRONTEN saktar vattnet in och djupet ökar.

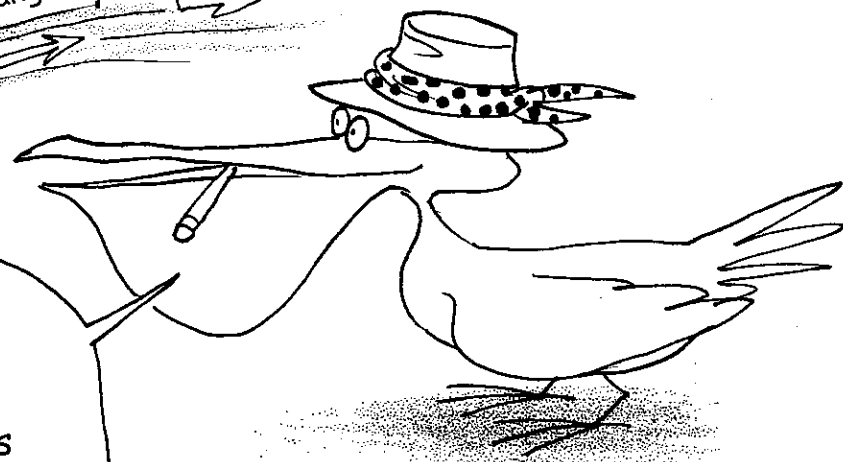
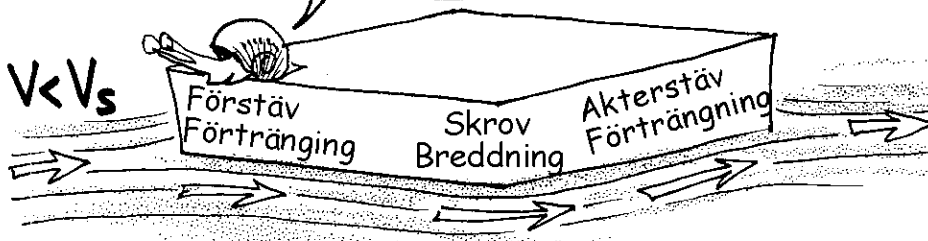
FLÖDE RUNT EN PROFIL



Nu när vi förstått detta, vill jag studera flödet runt en **PROFIL**. Jag börjar med en situation där vätskans hastighet V är **LÄGRE** än V_s .

Jag har gjort en förenklad båt med tre diedervinklar.

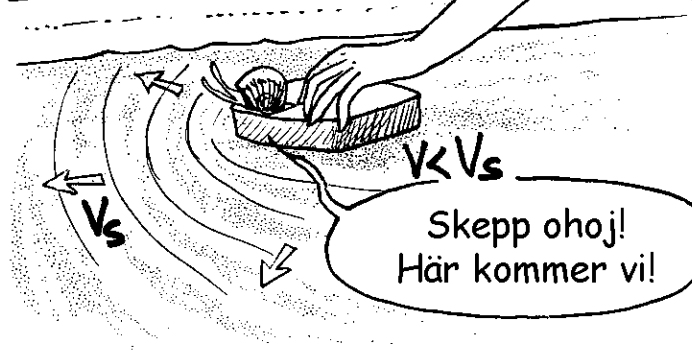
Vattnet accelererar vid fören, som bildar en förträngning.



Hmmm... mycket riktigt. Vattnet är snabbast när det passerar den andra vinkeln, båtens mittskrov. Sedan saktar det ner tills det passerar aktern, där dess hastighet är densamma som vid fören. Djupet är hela tiden detsamma.

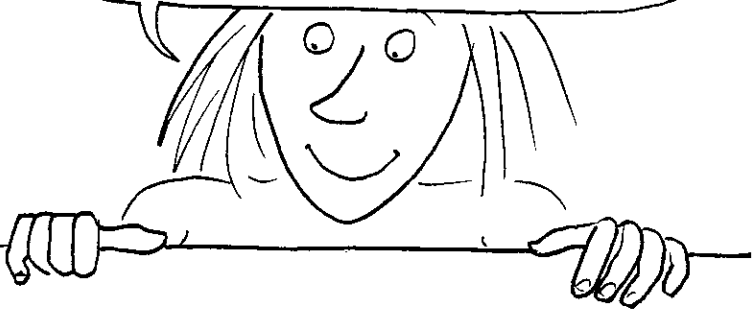


YTVÅGORNA som rör sig med en högre hastighet V_s kan röra sig uppströms och överföra energi. På så sätt informerar de det inkommande vattnet om att ett objekt närmar sig. Vattnet börjar dela sig **INNAN** det träffar båten.

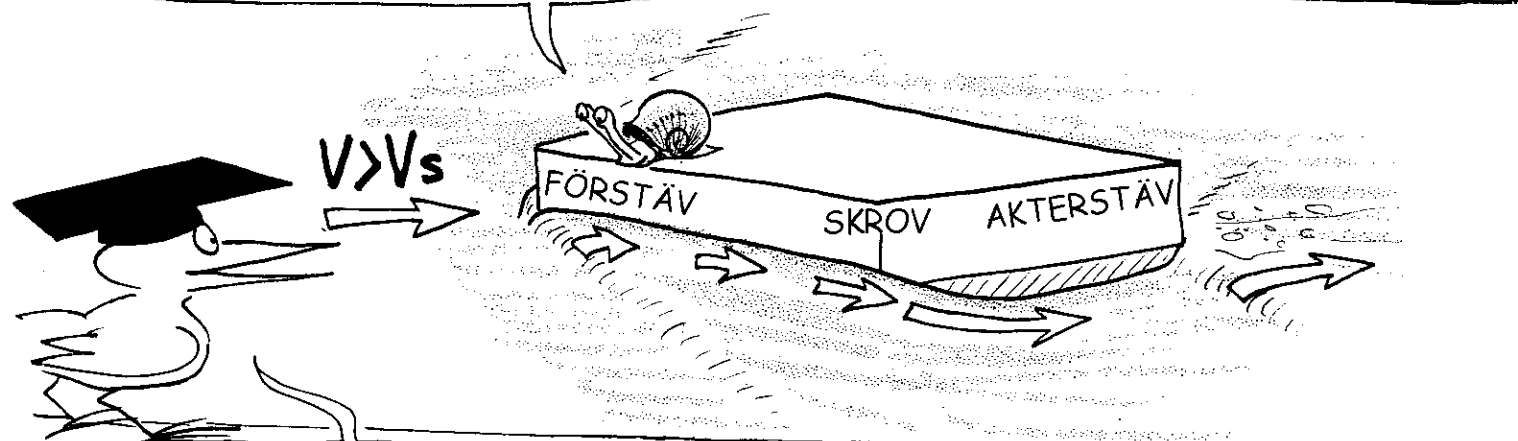


Skepp ohoj!
Här kommer vi!

Nu ökar jag kanalens lutning så att vattnets hastighet V blir högre än ytvågornas hastighet V_s .



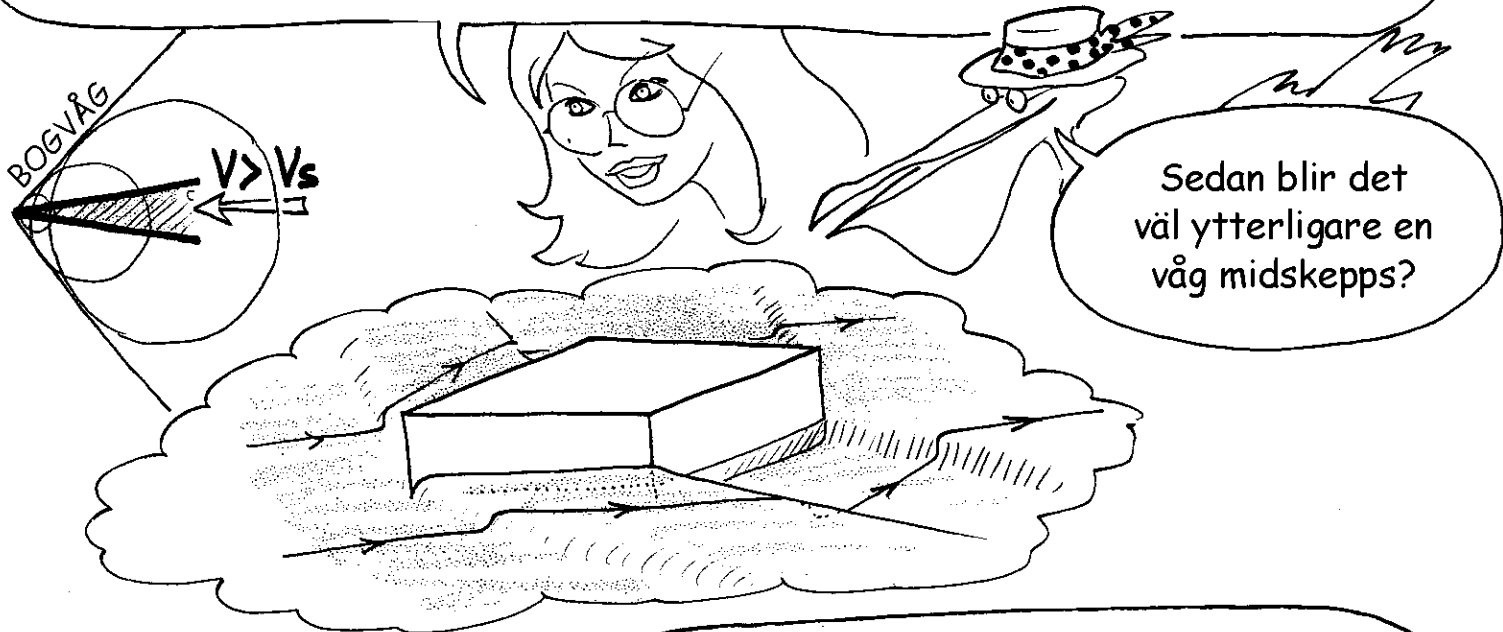
Hugoniots sats säger oss att vattnet saktar ner vid fören, blir snabbare midskepps och saktar ner igen vid aktern



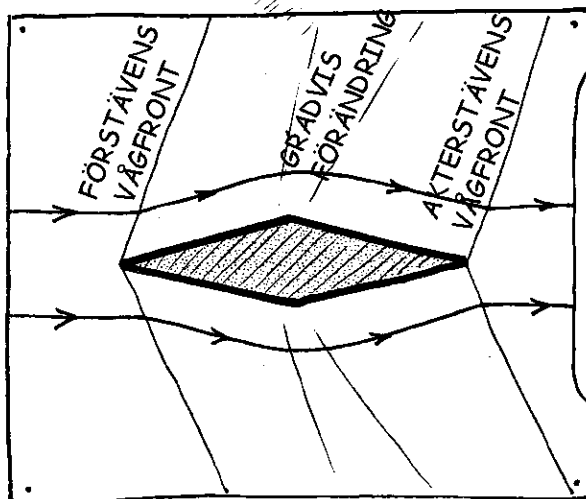
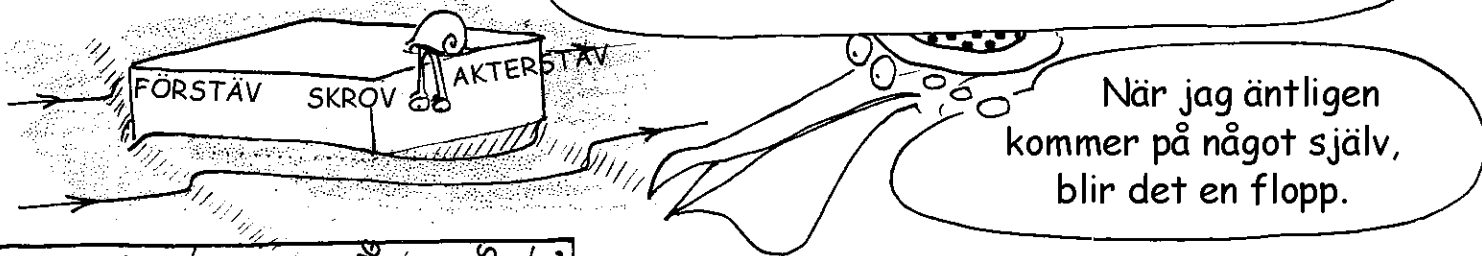
Vid båtens FÖR saktas vattnet plötsligt in och stiger över den gamla vattenlinjen. När vattnet passerar nästa hörn, accelererar det igen, rent av till en HÖGRE hastighet än det fria flödets. Samtidigt sjunker det under den normala vattenlinjen. Vid AKTERN återgår både hastighet och vattendjup till sina gamla värden.

BOGVÅGEN

I de situationer där V är högre än ytvågornas hastighet V_s , ser vi **VÅGFRONTER**. Fören, exempelvis, skapar vågor som rör sig för långsamt för att hinna uppströms och som därför bildar en vågfront, kallad **BOGVÅGEN**.

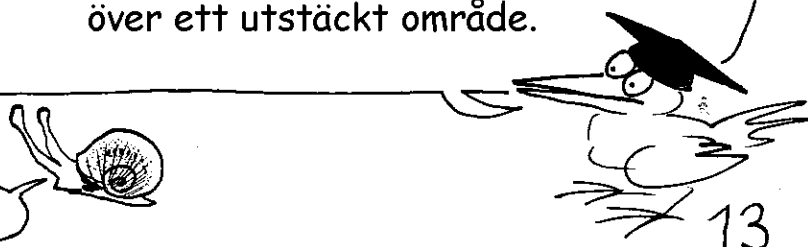


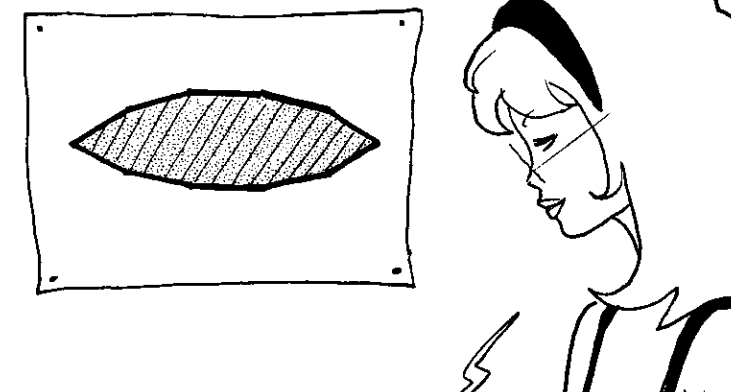
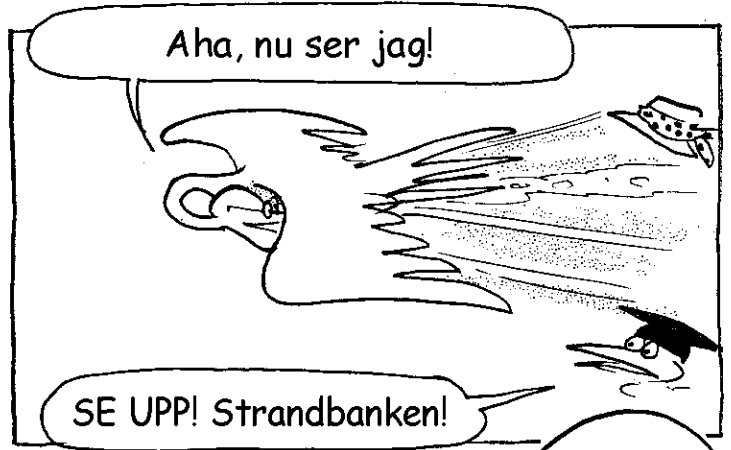
Nix, här blir ingen vågfront, allt går lugnt tillväga.



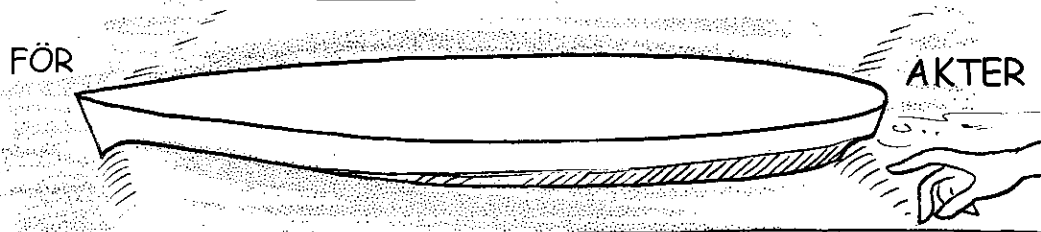
Tiresias har rätt, Léon. De hastiga förändringarna i hastighet och vattendjup sker vid förstäv och akterstäv, genom vågfronter. Midskepps sker förändringarna gradvis, över ett utstäckt område.

Iakttagelse, Léon, iakttagelse!





Vår modell hade plana ytor och ett fåtal vinklar. Ett riktigt skrov utgörs av många spant och är en slät kurva.



AKTERSTÄVENS våg återför vattennivån till dess neutrala värde. Båtar lämnar ju inte bestående spår efter sig!

På samma sätt överförs den kvarvarande skillnaden i hastighet, som orsakas av friktion mellan båten och vattnet, till turbulens i SVALLVÅGEN.

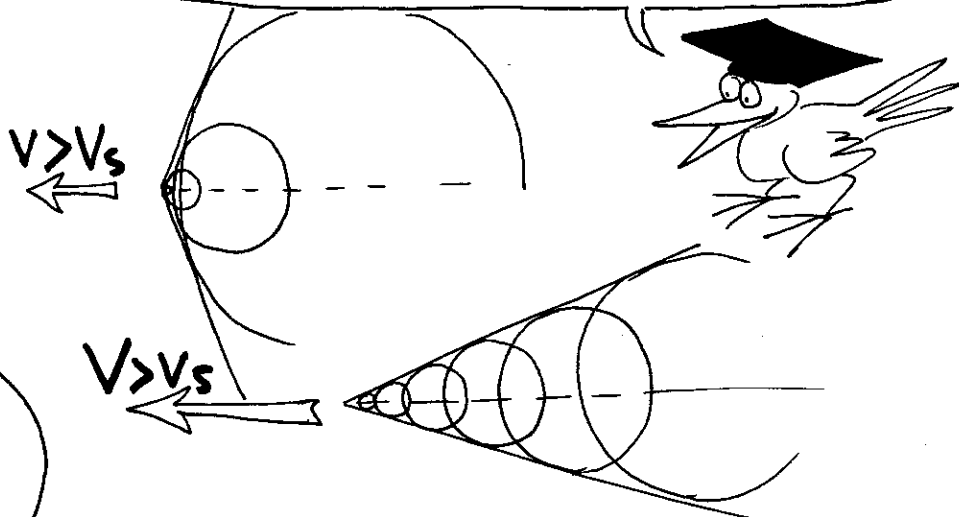
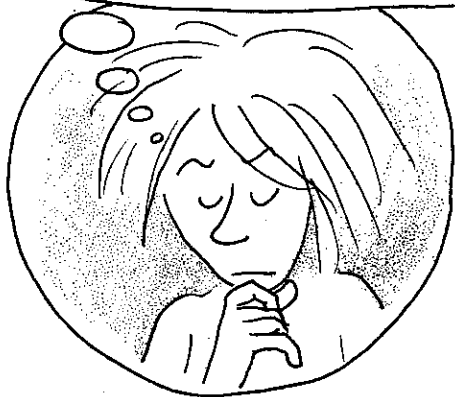


LÄMNA VÄTSKAN I DET TILLSTÅND SOM DU SJÄLV VILL FINNA DEN.

HASTIGHETSMÄTNING

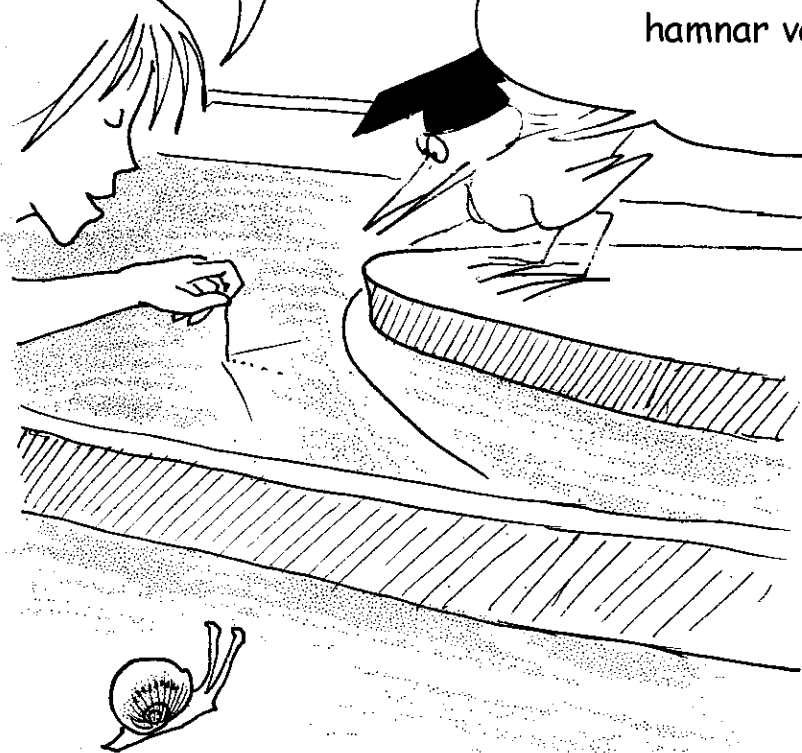
För att komma vidare med det här, behöver jag ett sätt att mäta hastigheter.

Om du sticker en tunn nål i ett flöde vars hastighet V är högre än ytvågornas hastighet V_s , så kommer vågfronterna vinkel att visa hastigheten.

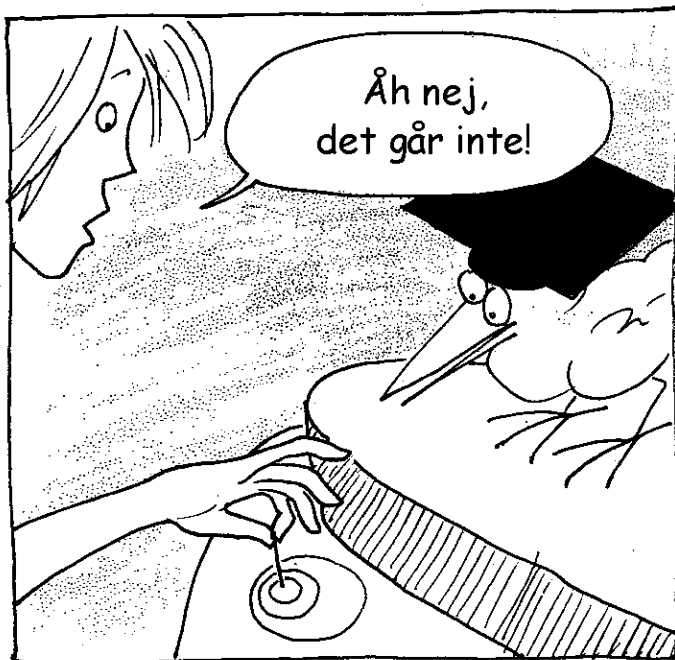


Wow, Max, du har rätt! Det här låter mig mäta hastigheten V . (*)

Har du sett, när objektet är trubbigt hamnar vågfronten en liten bit framför, och vågor lösgör sig.



Åh nej, det går inte!



(*) Se appendix A (s. 71).

Inga konstigheter.
I ett sådant fall, med en trubbig
förstäv, sjunker hastigheten V och
blir lägre än V_s .

Nästan som om båten använder
bogvågen till att skapa en ficka där
 $V < V_s$ för att lättare kunna navigera.

Men hur kan vattnet hinna maka
på sig när det rör sig så långsamt?

Elementärt, min käre Léon: där vätskan
saktar in, stiger ytan, och vice versa.

Besynnerligt men
alls inte underligt.

Matdags
för forskarna!

Det vore ändå bra att bli av med de där vågorna på något vis.

Det är slöseri med energi, helt klart!

Något är i görningen, men VAD?

De innehåller definitivt energi. Den där stekarens motorbåt förstörde vår landningsbrygga.

Om man kunde förvarna vattnet föröver skulle vågen inte uppstå...

Så om vi vill röra oss fortare än YTVÅGORNA måste vi kunna verka på vattnet framför.

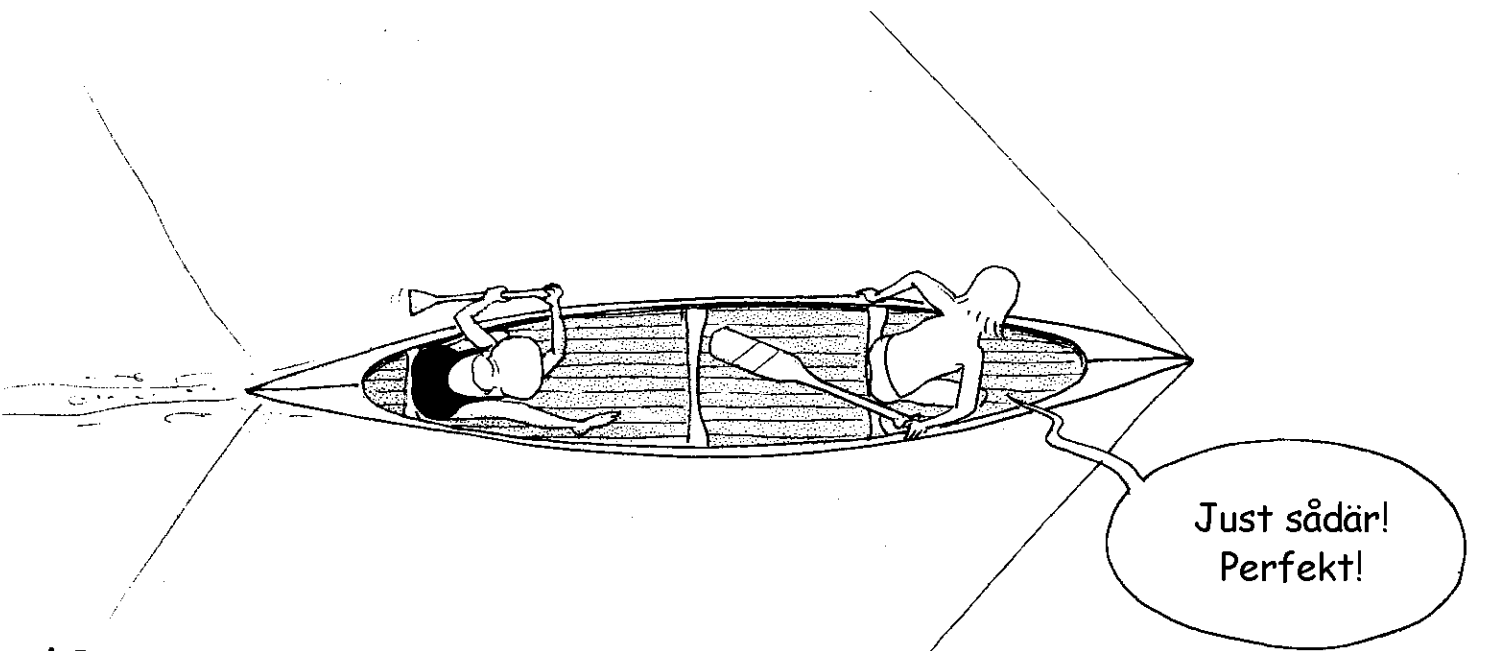
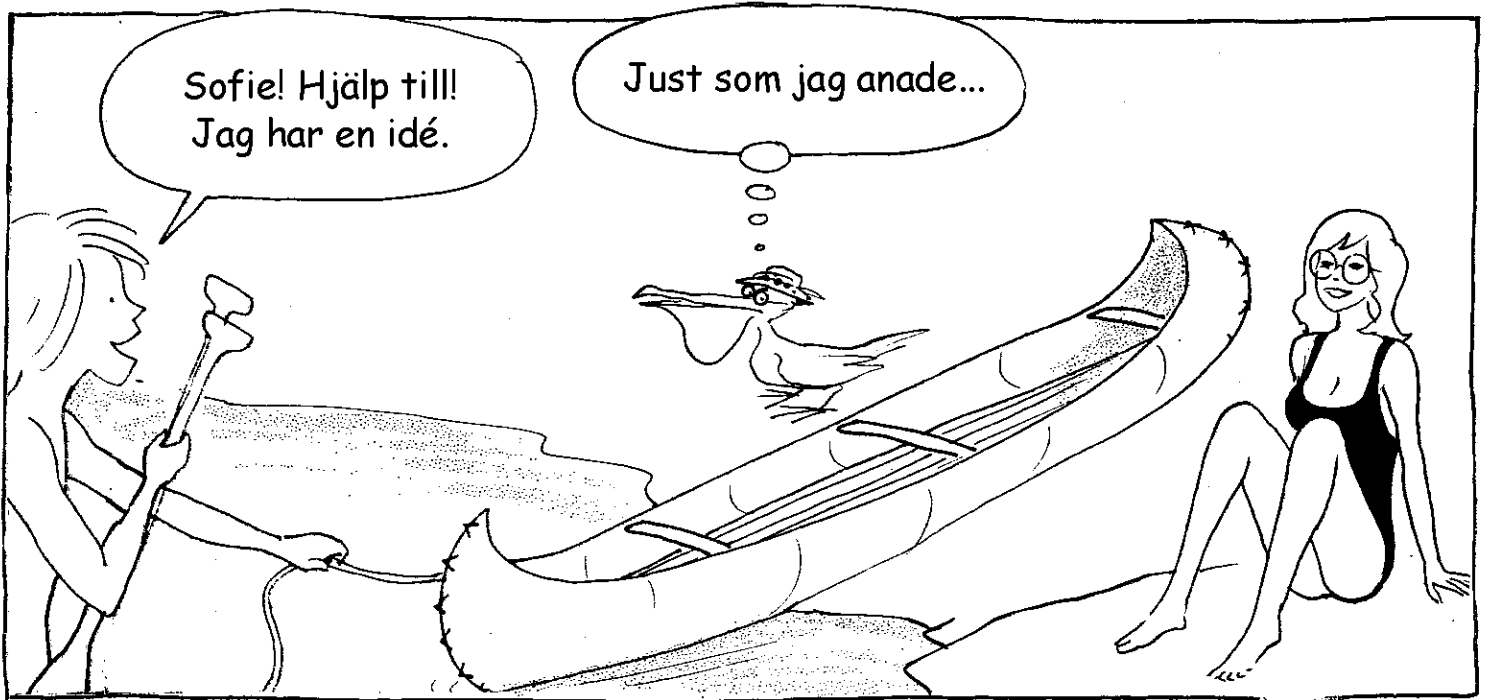
HÄPP!

Disken...

Det måste gå, men hur?

AHA!

KNÄPP



Nu ska du få se.

Det ska jag nog.

Akta!

Inte det, nä...

Vad sysslar ni två med?

Inget. Anselm skulle bara förvarna molekylerna.

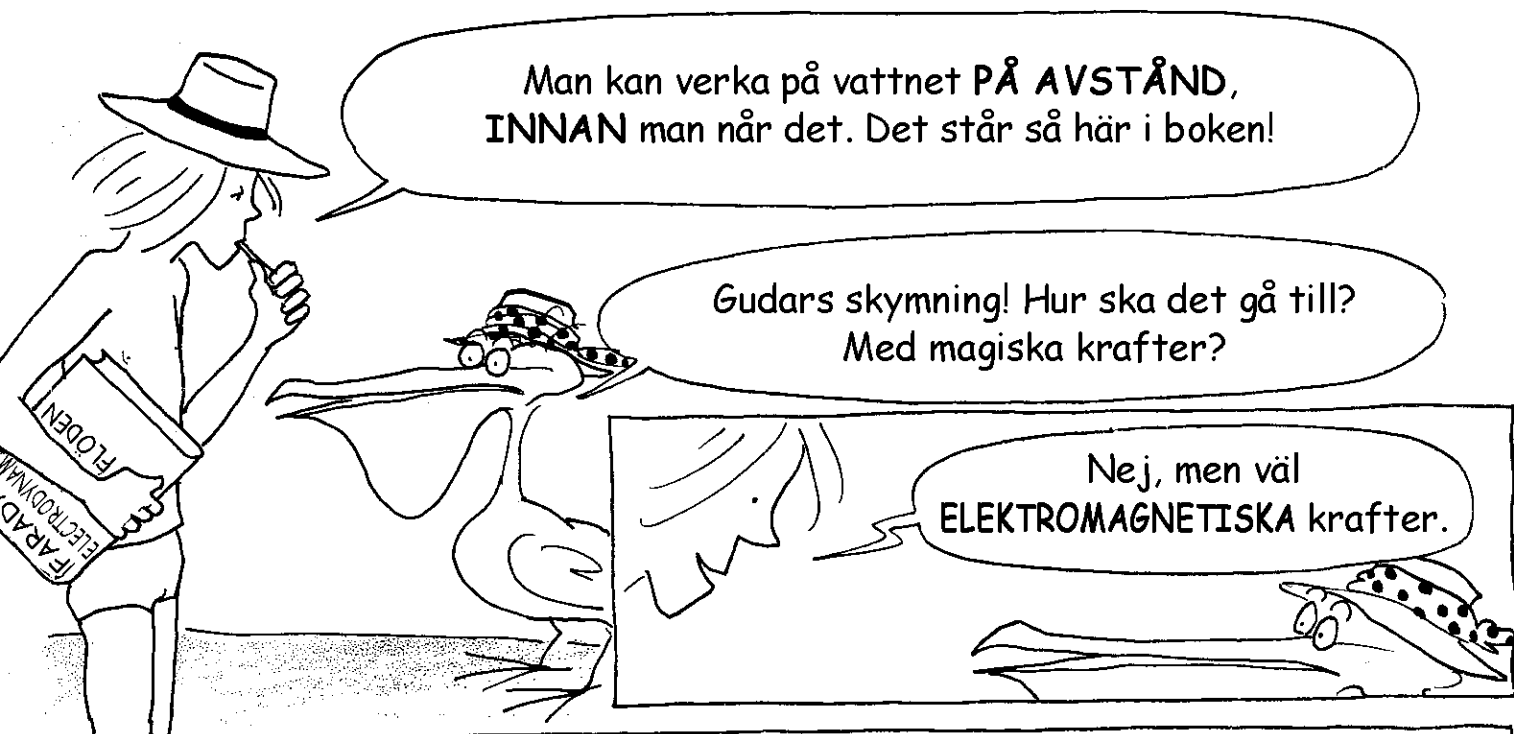
Vad inbillar ni er egentligen? Om ni vill förvarna molekylerna föröver måste ni sticka ett föremål i vattnet där...och det kommer i sin tur att skapa sina egna vågor. Det är en ond cirkel.

Vänta, vänta...

Sofie säger att du bara skjuter problemet framför dig.

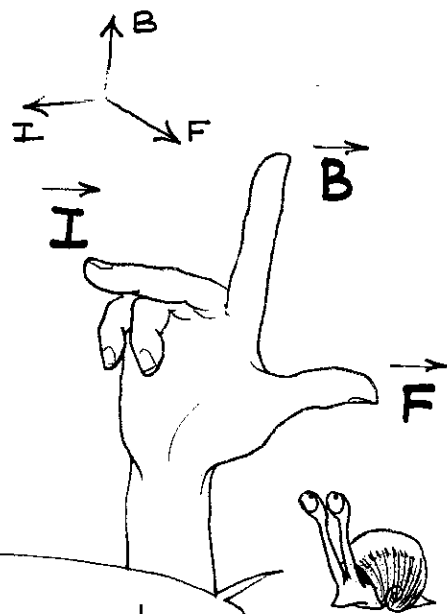
Hon säger att man inte kan bygga en båt utan bogvåg.

I VILKET ANSELM UPPTÄCKER MAGNETOHYDRODYNAMIKEN

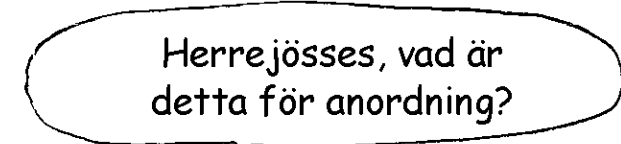


Om en vätska utsätts för ett **MAGNETFÄLT \vec{B}** och samtidigt leder en **ELEKTRISK STÖM \vec{I}** vinkelrät mot fältet, erfar vätskan en **LAPLACEKRAFT** av styrka **IB** , och vars riktning ges av **högerhandsregeln**: håll höger hands tumme, pekfinger och långfinger som i figuren. Antag att strömriktningen ges av långfingret och magnetfältet av pekfingret. Då verkar kraften i tummens riktning.

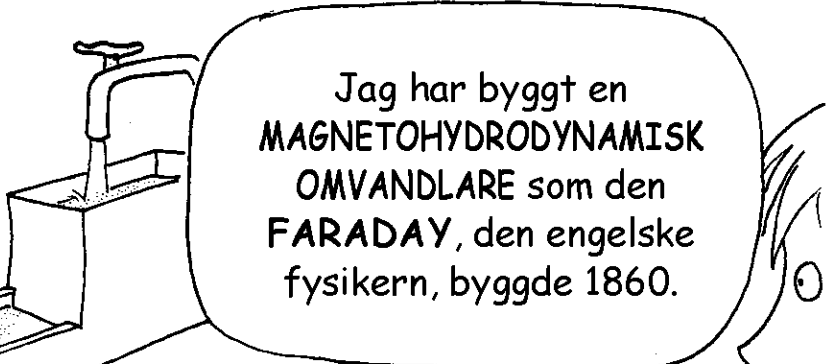
Ledningen.



Håll tummarna!



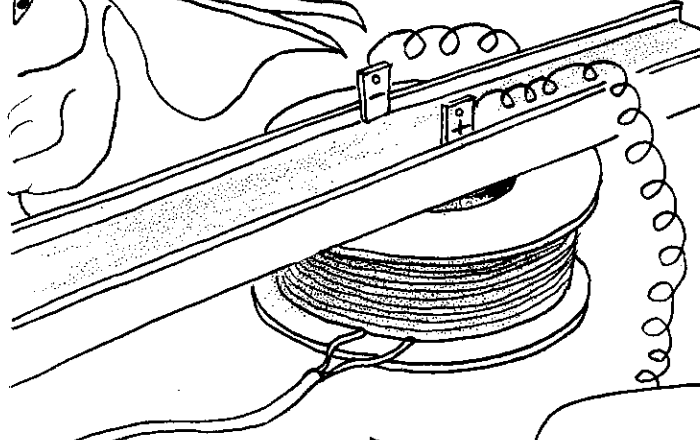
Herrejösses, vad är detta för anordning?



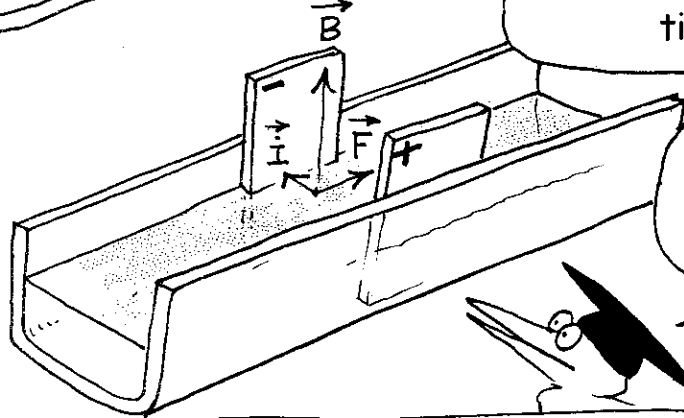
Jag har byggt en **MAGNETOHYDRODYNAMISK OMVANDLARE** som den **FARADAY**, den engelske fysikern, byggde 1860.



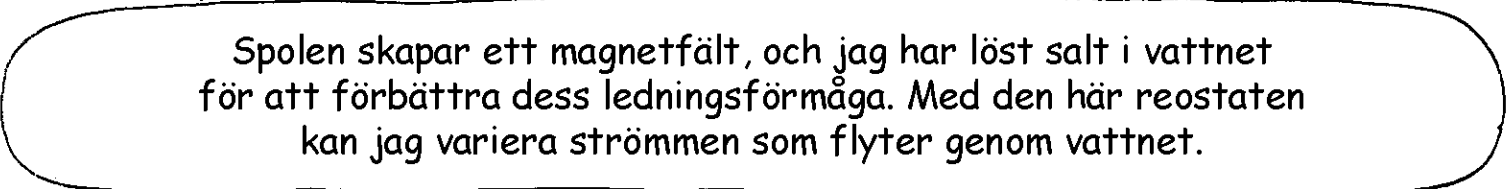
OMVANDLARE? Varför?



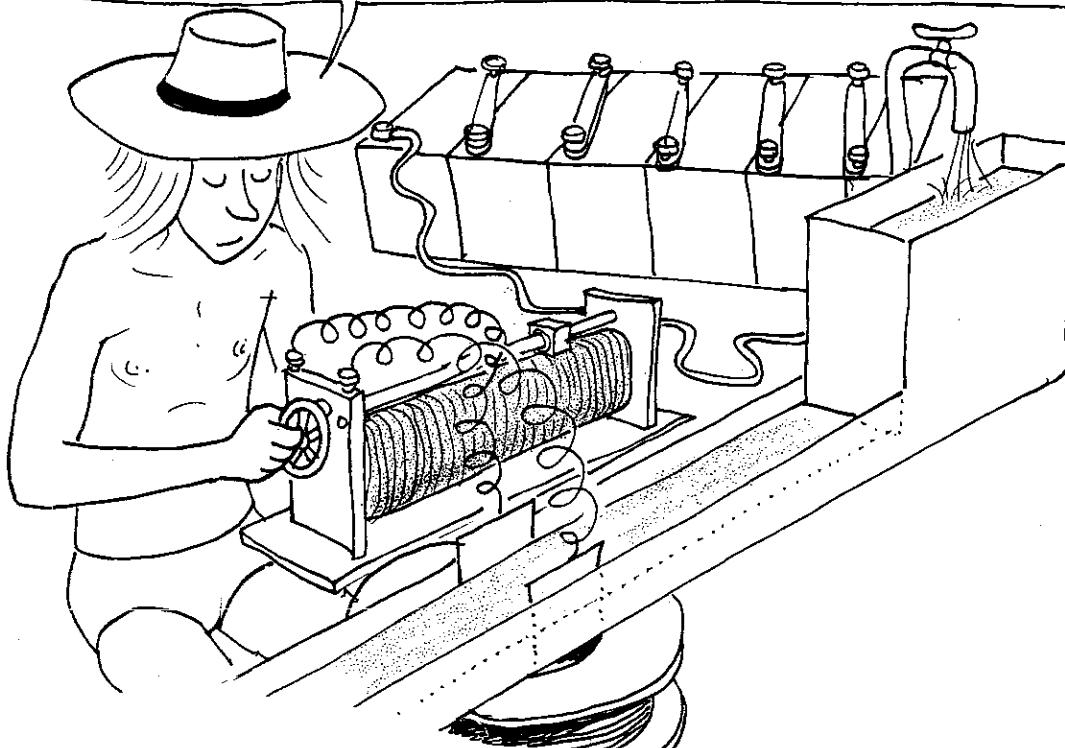
Den omvandlar **ELEKTRISK** energi till rörelse, alltså **KINETISK** energi.



Den magnetiska fältvektorn \vec{B} och strömvektorn \vec{I} , tillsammans med kanalens axel, bildar ett **ORTOGONALSISTEM**.



Spolen skapar ett magnetfält, och jag har löst salt i vattnet för att förbättra dess ledningsförmåga. Med den här reostaten kan jag variera strömmen som flyter genom vattnet.



Genom att kontrollera strömmen \vec{I} och magnetfältet \vec{B} kan du få vätskan att **ACCELERERA** eller **DECELERERA** som du vill.

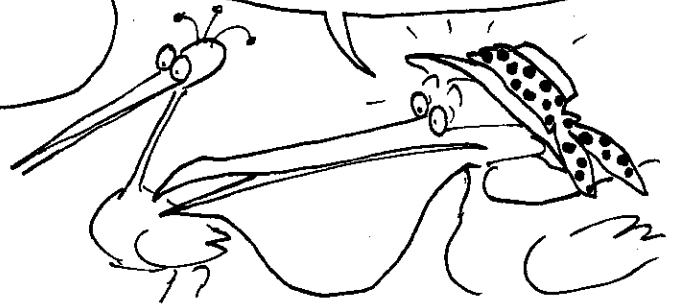
KRITERIUM FÖR VÄXELVERKAN



Inte nog med det!
Om vi kan tillföra tillräckligt
med energi borde vi kunna utöva
FULLSTÄNDIG KONTROLL
över flödet.



Va?
Max, du yrar!
Omnipotensfantasier!

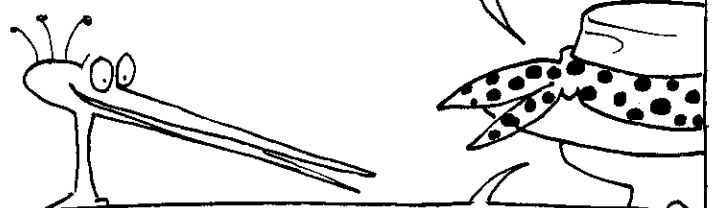


Jag tror att det blir en
händelserik dag, håller ni inte med?



Det kan du hoppa upp och sätta dig på.
Du vet hur Anselm är, när han gått
igång kan man inte stoppa honom!

Om bara Sofie var här!
Men hon ligger på stranden och solar.

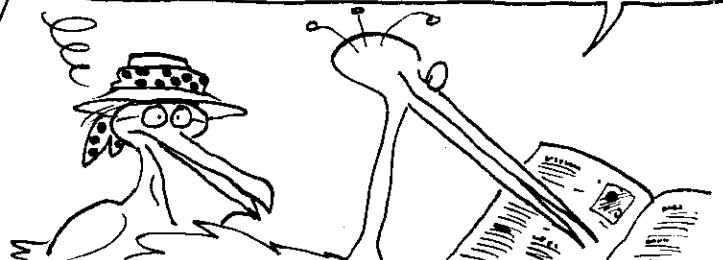


Den här **MAGNETOHYDRODYNAMIKEN**
ger mig onda aningar.

Du oroar dig i onödan. Det här är
lågspänningskretsar. Man sliter inte
sönder rumtiden med 40 volt
och 10000 gauss!



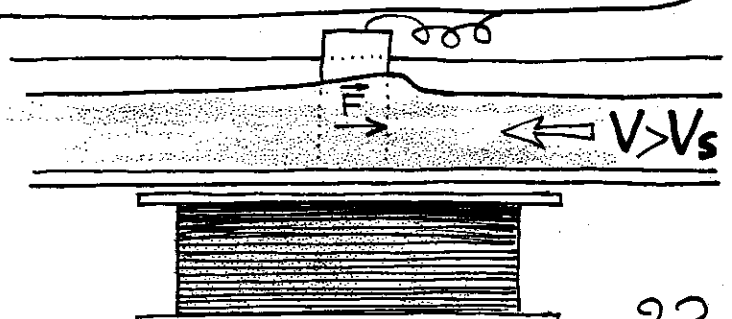
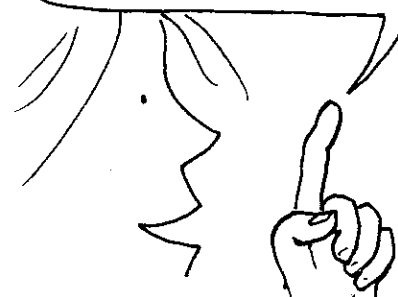
Mag... magn... **MAGNETOHYDRODYNAMIK**,
förkortat **MHD**. Det finns i ordboken
så det är på riktigt!



Ha, kolla!



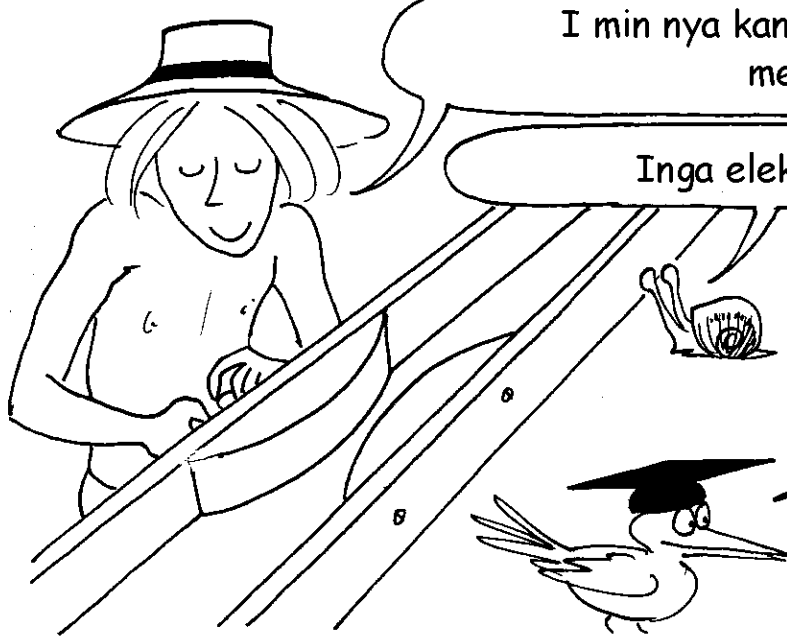
Genom att använda systemet som ett **FARTHINDER** och
tillföra tillräckligt med energi, har jag skapat en **VÅGFRONT**
med inget annat medel än laplacekraften **IB**.



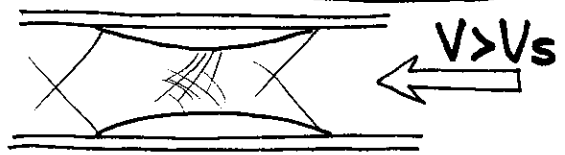


BLOCKERING

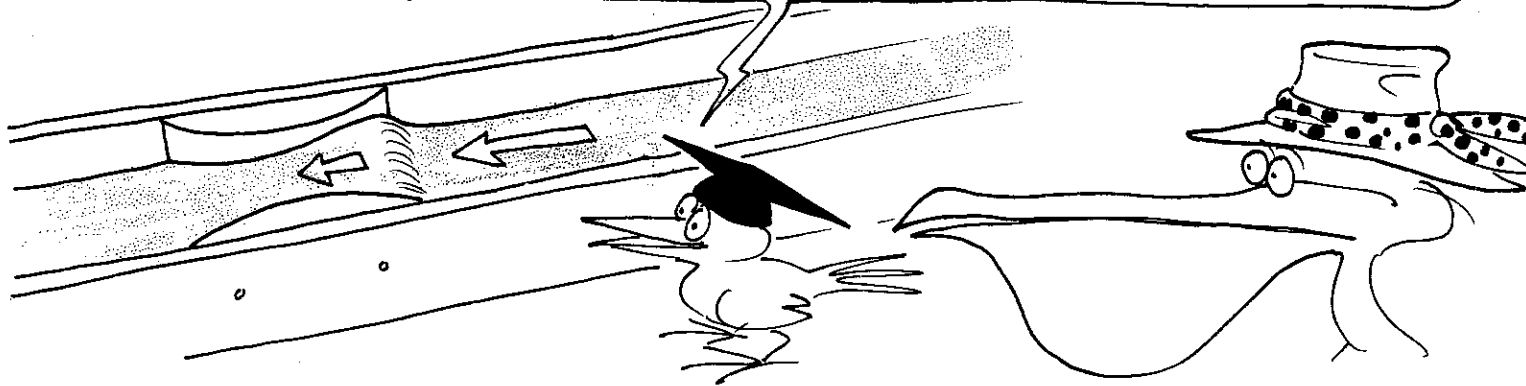
Klassisk fysik,
helt klassisk.



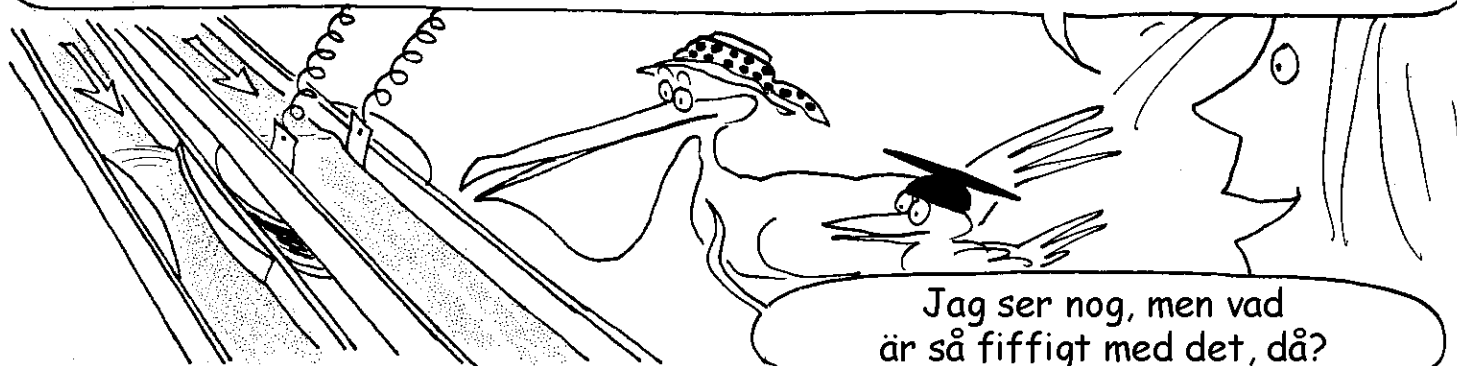
Om förträngningen
är lindrig, uppstår korsande
VÅGFRONTER.



Men om förträngningen är större, rör sig fronterna uppströms,
och en stationär våg bildas framför den förträngda passagen.
Flödet sägs vara **BLOCKERAT** trots att vattnet fortfarande passerar.



Men se här: jag kan skapa precis samma blockering utan mekaniska hinder, bara genom att använda magnetfält.



Jag ser nog, men vad är så fiffigt med det, då?

Vad har du att säga om saken?

Om ungdomarna vill tillämpa elektromagnetism på hydrodynamiken har jag inget att invända. Nåt kul ska man väl ha?

Om Anselm drar på med starkare laplacekrafter kommer blockaget att bli ännu trängre.

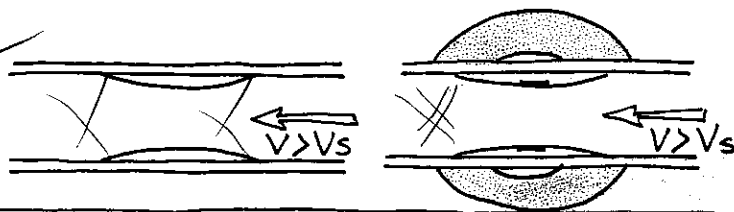
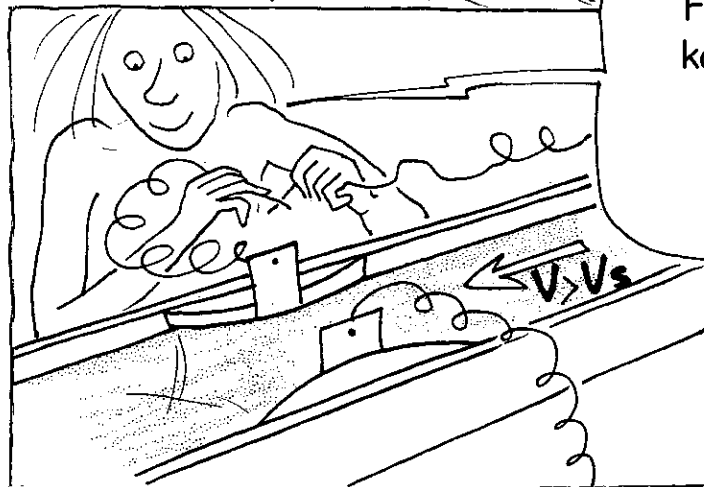
Gott så.

Visst! Men antag att jag KASTAR OM LAPLACEKRAFTEN.

?

AVBLOCKERING

Jag utgår från den smärre förträngningen. För att kasta om kraften, kan jag antingen kasta om magnetfältet B eller strömmen I . Om produkten $\dot{I}B$ är tillräckligt stor (*) får accelerationen $V \dot{A}GFRONTEN$ UPPSTRÖMS ATT FÖRSVINNA!



(*) Se appendix B (s. 71).



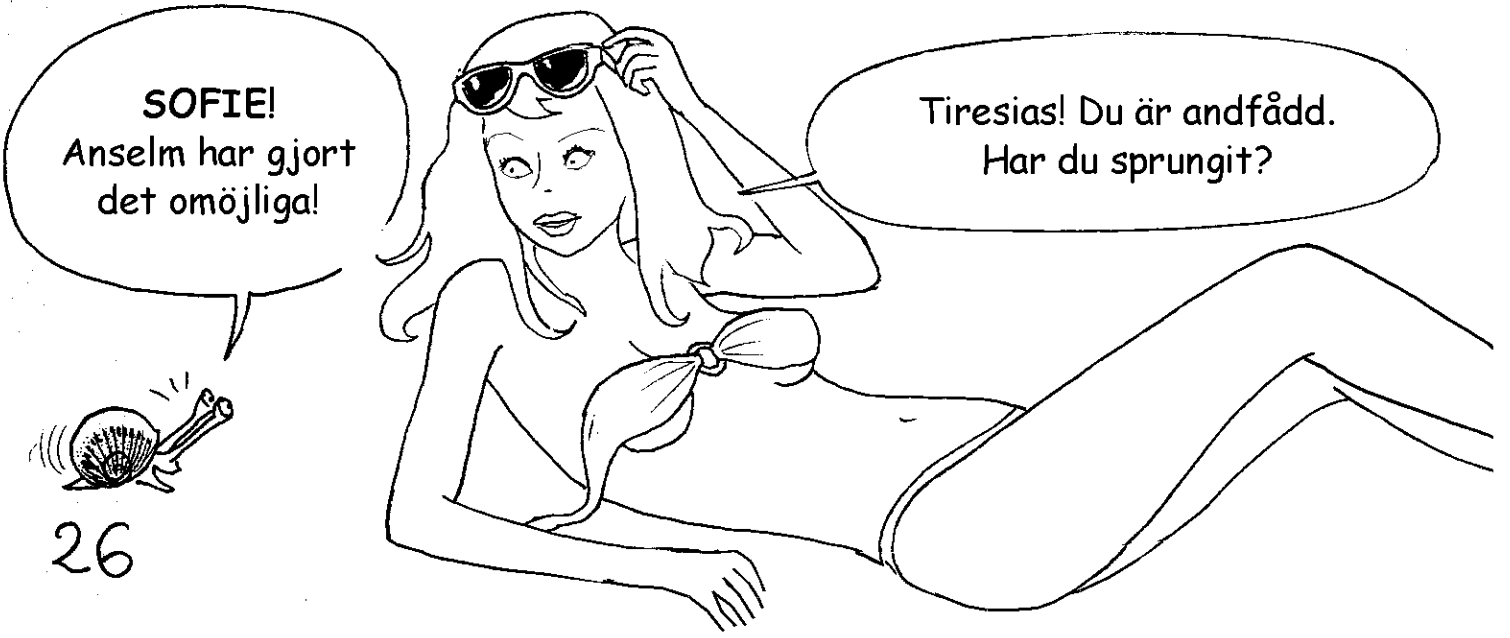
BLOCKERING

Vågfronten UPPLÖSES.

AVBLOCKERING
skapad av accelererande laplacekrafter

FÖRDJUPNING

Genom att öka laplacekrafterna kan Anselm skapa en **SUGEFFEKT**, som sänker vattenytan uppströms och skapar en **FÖRDJUPNING**.

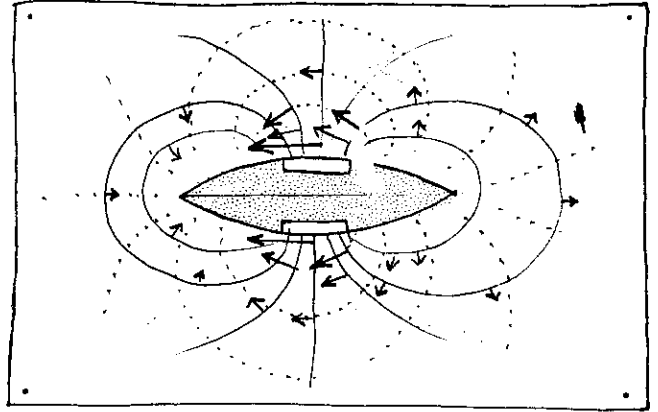




BOGVÅGEN FÖRINTAS

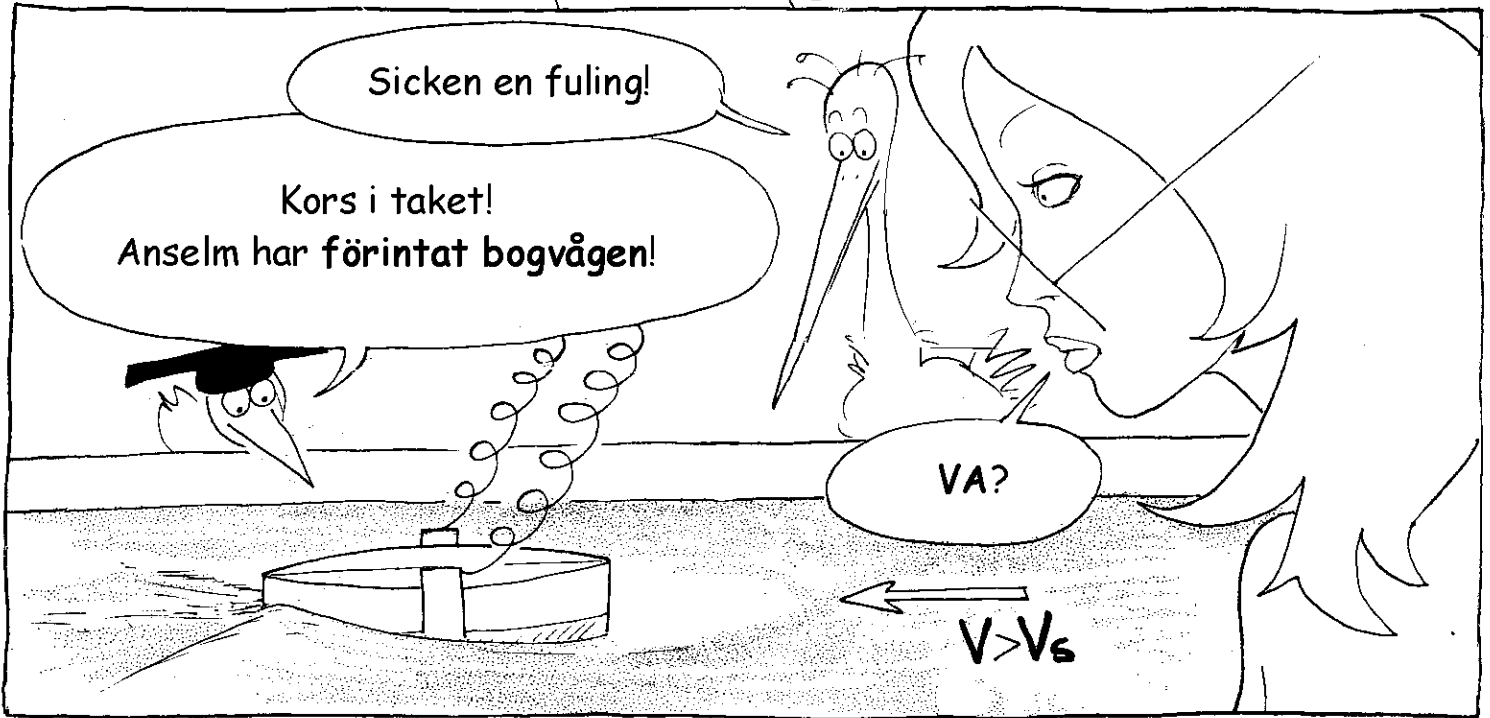


Med
HÖGERHANDSREGELN
kan jag räkna ut hur
kraften verkar på
vätskan.



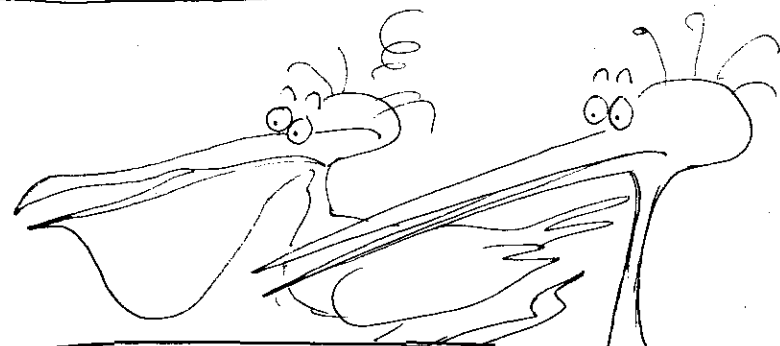
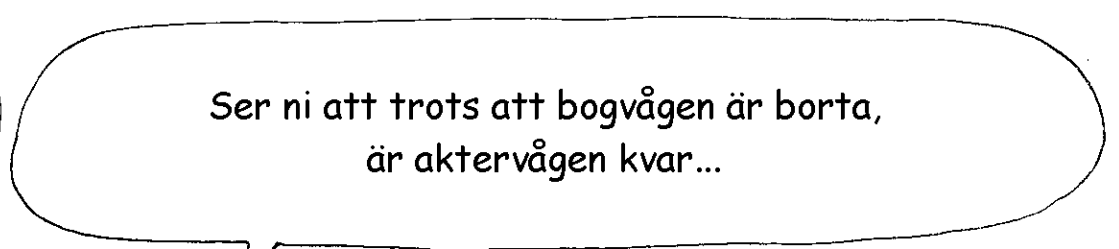
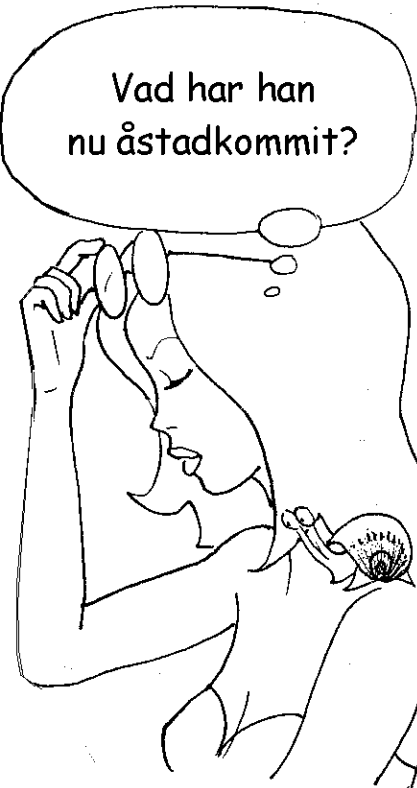
Sicken en fuling!

Kors i taket!
Anselm har förintat bogvågen!



Vad har han
nu åstadkommit?

Ser ni att trots att bogvågen är borta,
är aktervågen kvar...



Det är ju välkänt... väl?



Det är inte ett dugg känt!
Nu vill jag veta vad han har
byggt för manick!



Men det här skulle ju vara
populärvetenskap?

Jag fattar noll...

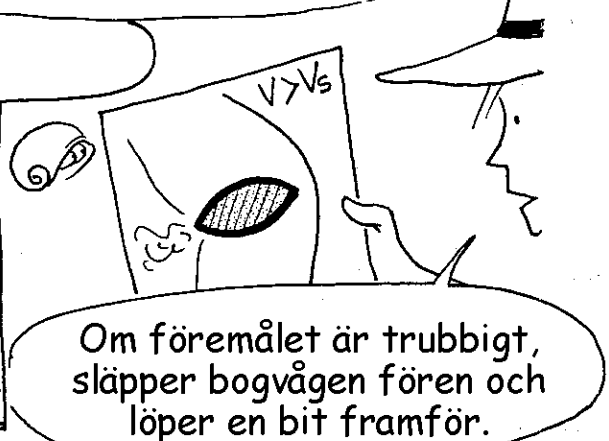
Om man populariserar
saker ingen förstår,
vet du vad det kallas?



Det kallas vetenskaplig FORSKNING.

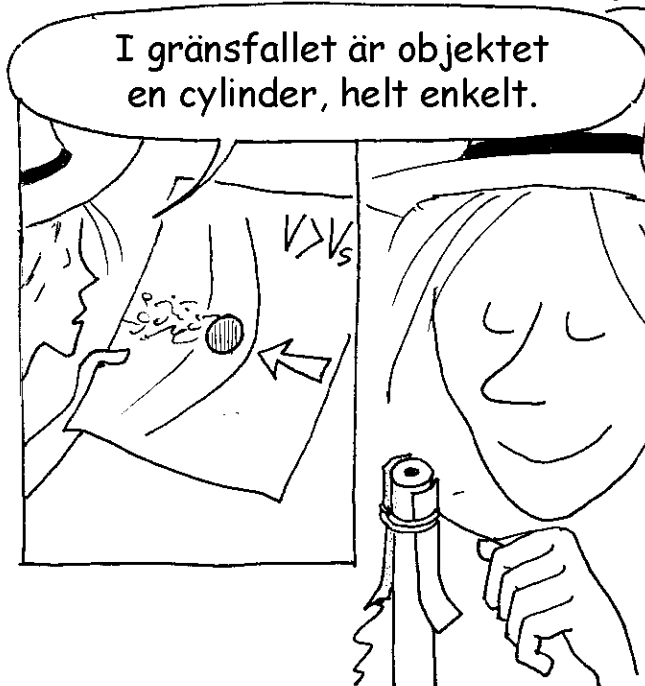
Vad var det jag sa?

AH!

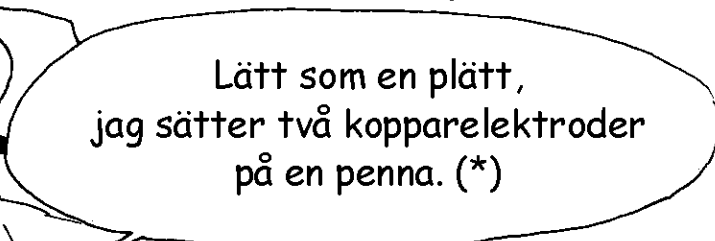


Om föremålet är trubbigt,
släpper bogvågen fören och
löper en bit framför.

HUR DU BYGGER DIN EGEN MHD-ACCELERATOR



I gränsfallet är objektet
en cylinder, helt enkelt.

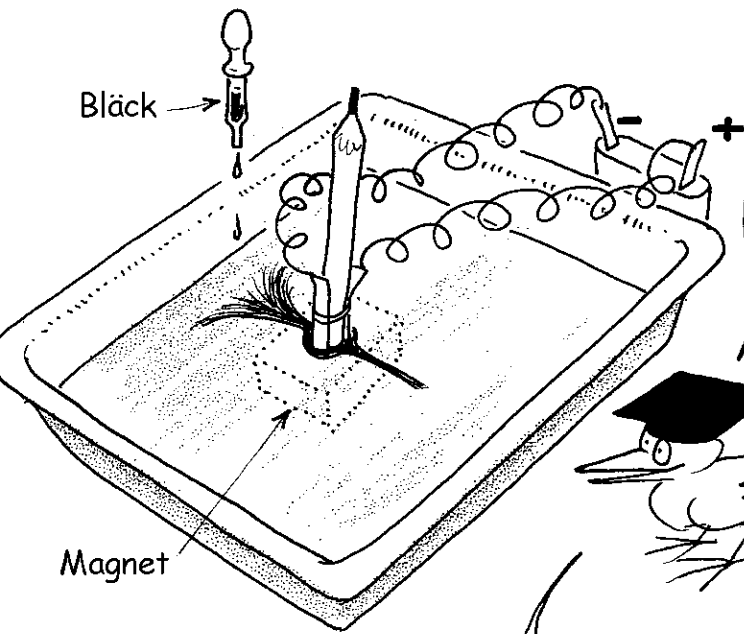


Lätt som en plätt,
jag sätter två kopparelektroder
på en penna. (*)

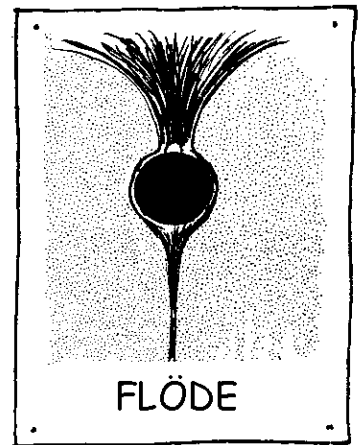
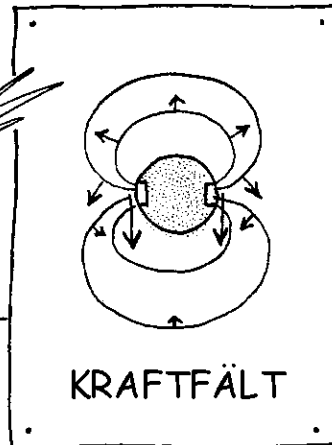


Med en balja saltvatten
och en magnet kan du åskådliggöra
laplacekrafternas pumpeffekt.

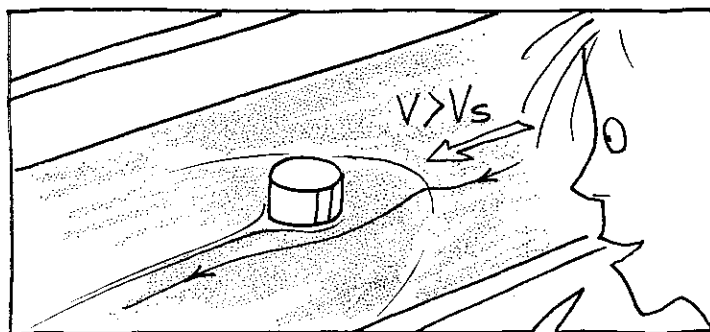
(*) Påhittat 1976 av Maurice VITON.



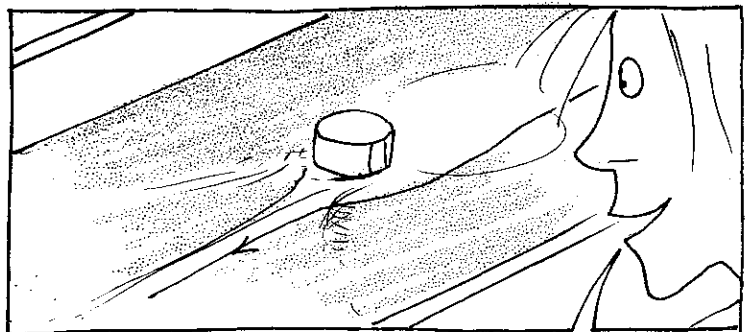
Magneten, under baljan, producerar ett vertikalt magnetfält B . Pumpeffekten kan synliggöras med en droppe bläck.



En liten permanentmagnet och ett batteri räcker för att se effekten. Men för att påverka vätskan så att vågfronternas geometri ändras, behövs tio gånger starkare krafter.



Jag sätter min modell i kanalen och ökar spänningen. Till att börja med är flödet jämnt, och vågfronten böjs.



Jag ökar den ytterligare. Vågfronten försvinner och ersätts av en fördjupning i vattenytan.

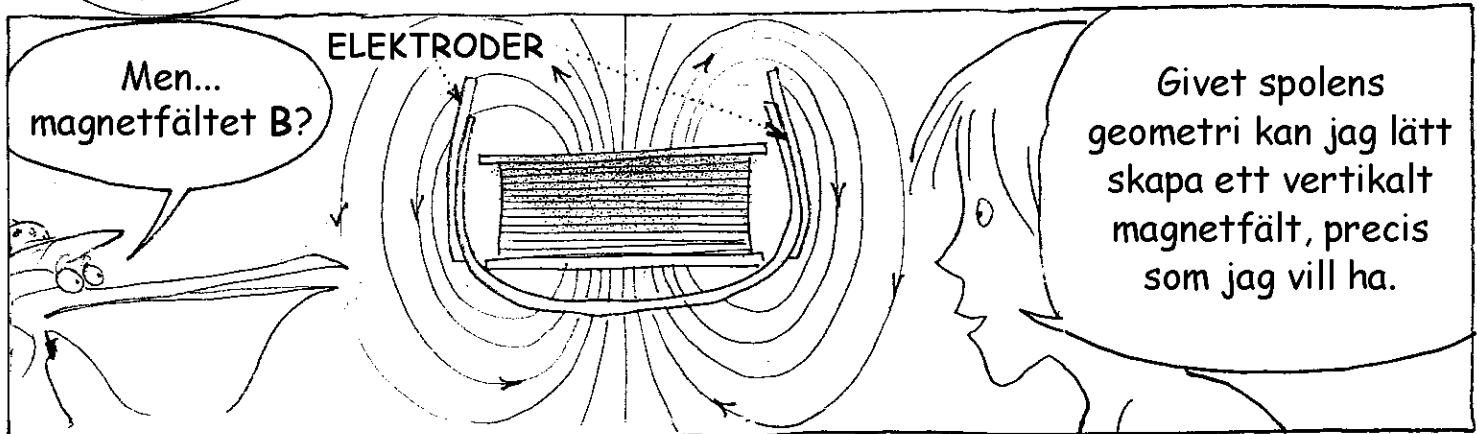
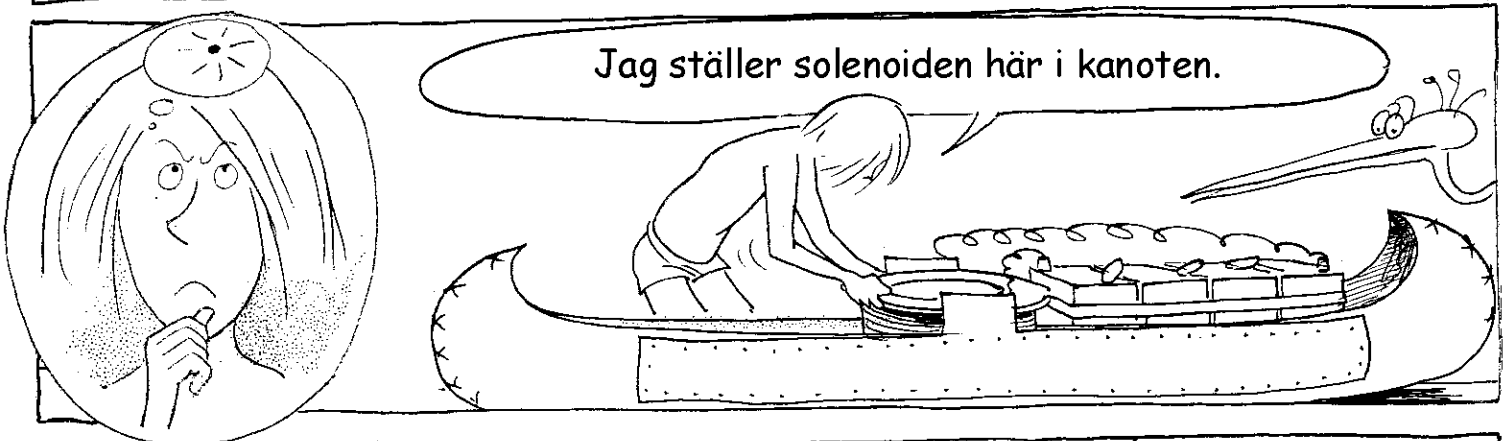
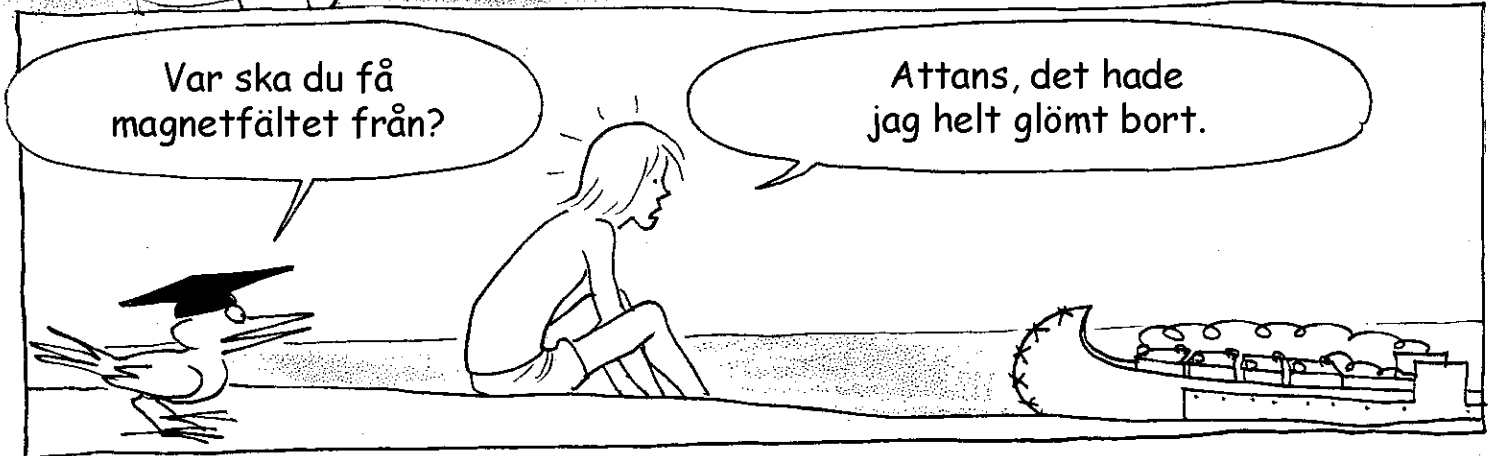
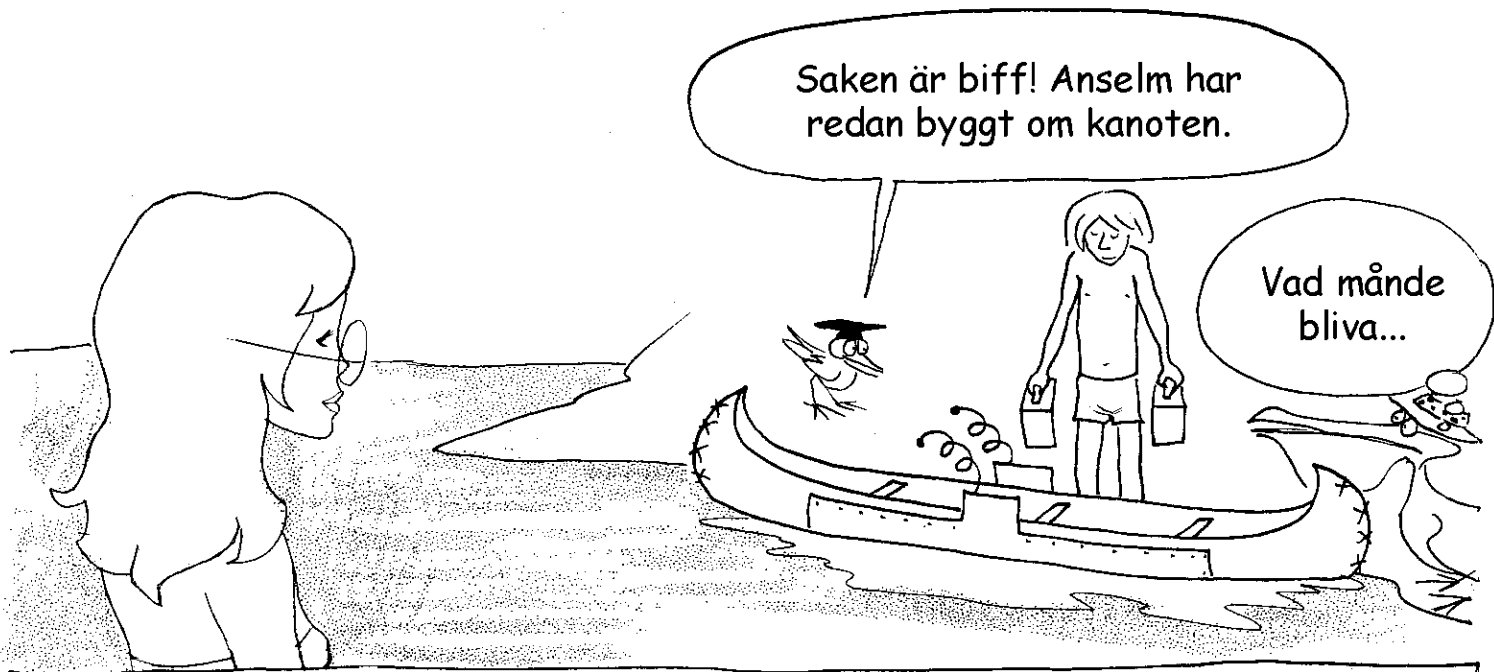
Fint, dags för tillämpning!

Vad tror du om allt detta?

Anselm, vänta på mig!

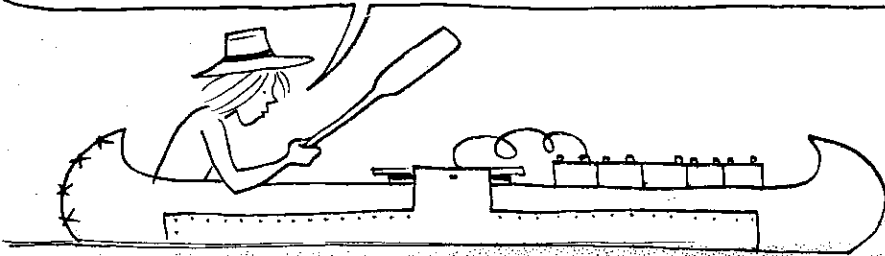


Laplacekraften verkar på avstånd. Anselm verkar ha funnit ett sätt att förvarna den ankommande vätskan.

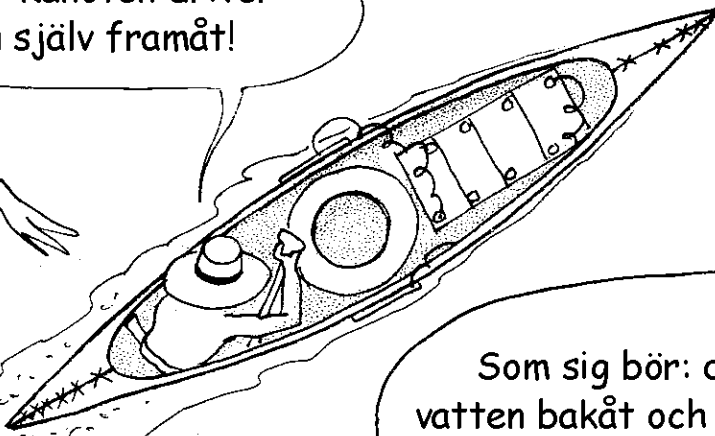


MHD-DRIFT

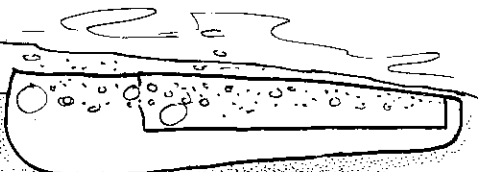
Så, min bogvågsannihilator är igång. Nu behöver jag bara paddla med en högre hastighet V än ytvågshastigheten V_s .



Men? Kanoten driver sig själv framåt!

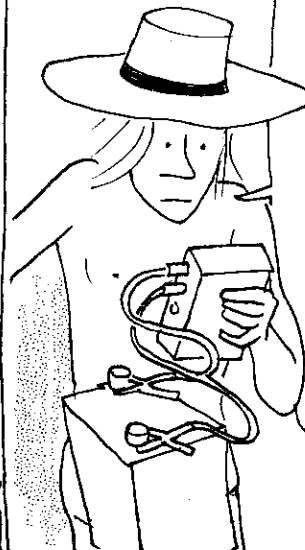


Som sig bör: ditt MHD-system pumpar vatten bakåt och skapar ett tryck på skrovet. Resultatet är en framåtriktad kraft.



Kolla, deras båt läcker.

Inte alls, det är elektrolysen av vattnet.

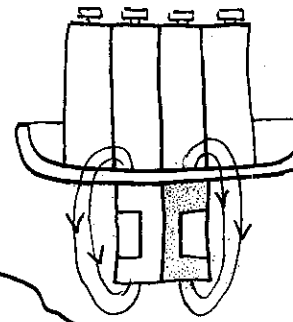


Attans!
Batteriet är redan urladdat. Solenoiden förbrukar en hel del energi. Jag får bygga en liten modell med permanentmagneter.

VERKNIINGSGRADEN



Här är min nya idé. En permanentmagnet under kölen, och elektroderna är batteridrivna.



Inte går det fort, inte!
Ett grams drivkraft,
rena snigelfarten...

Passar mig!

Den har ungefär samma effekt
som ett strykjärn (*).

Om jag i stället
kopplar samma batteri till
en vanlig elmotor...



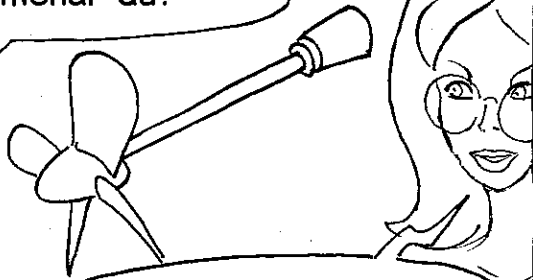
Vad händer?

Nu går det undan!

Hjälp!

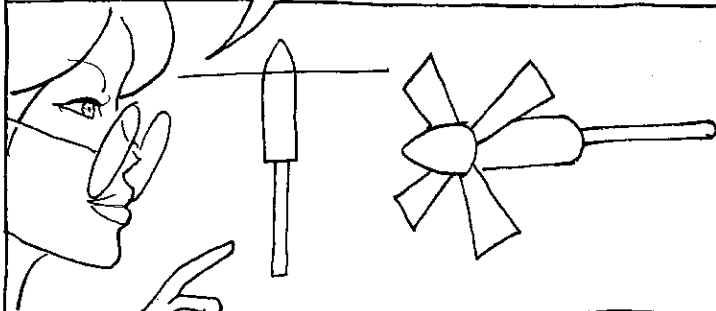
Ditt magnetfält
är för svagt. Din drift
är mycket ineffektiv.

Hur menar du?



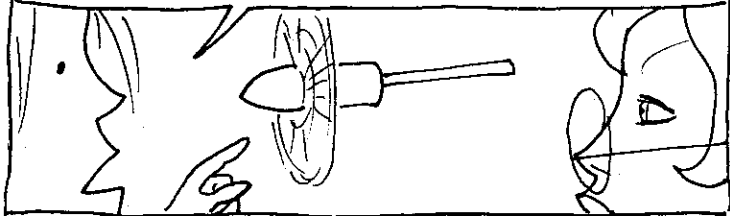
Propellerbladen är ställda i en viss vinkel.

Vad tror du händer om vinkeln i stället är mycket mindre, säg en grad eller två?



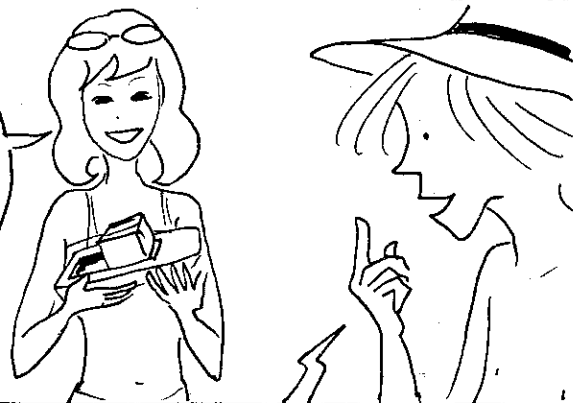
Det vore ineffektivt. Bara en liten del av effekten skulle gå till drift. Det mesta skulle dissiperas i form av värme.

Och det är just vad som händer med din MHD-drift. Tänk dig att strömmen I motsvarar rotationshastigheten och fältet B bladens vinkel.



Din vinkel är för liten! Att du gör är att värma vattnet.

Med permanentmagneter kan du inte hoppas på en bättre verkningsgrad än några miljontedelar. (*) I havsvatten behöver din MHD-motor ett fält som är minst 250 gånger starkare: runt 20-25 tesla.



Men vi vet hur man skapar starka magnetfält, eller hur?

Antag att du kunde få dina 25 tesla. Då behöver du en större båt och ett större avstånd mellan elektroderna. Om avståndet är tio meter, måste generatorn producera 10000 volt.



Du har byggt en elektrisk ål, inte en MHD-farkost.(**)

Inte en vattentät plan, alltså?

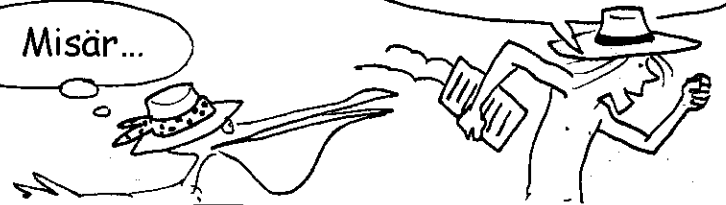
(*) Se appendix C (s. 71).

(**) Den elektriska ålen kan avge ungefär 300 volt.

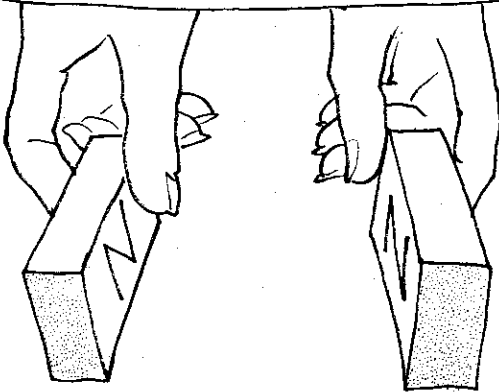
PARIETAL-ACCELERATORN

Sofie, nu vet jag hur vi ska få lågspänning att räcka.

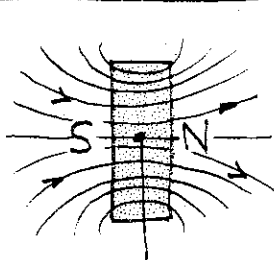
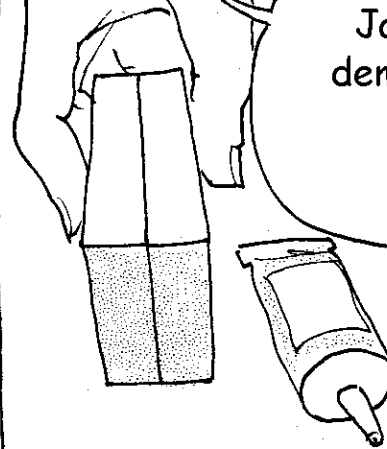
Misär...



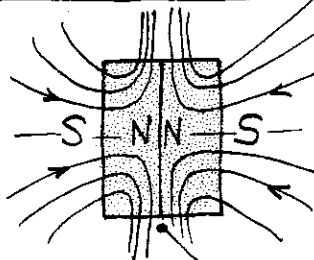
Här är två vanliga magneter.



Jag limmar ihop dem med superlim, i motsatta riktningar.

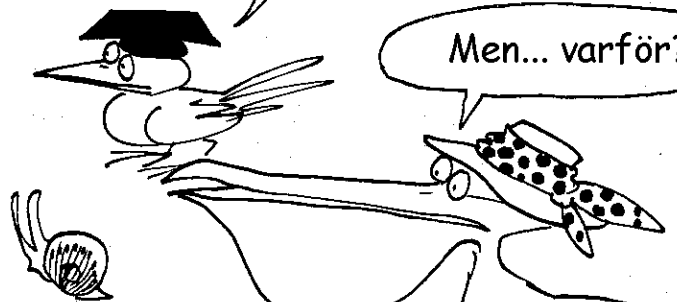


1000 GAUSS



2000 GAUSS

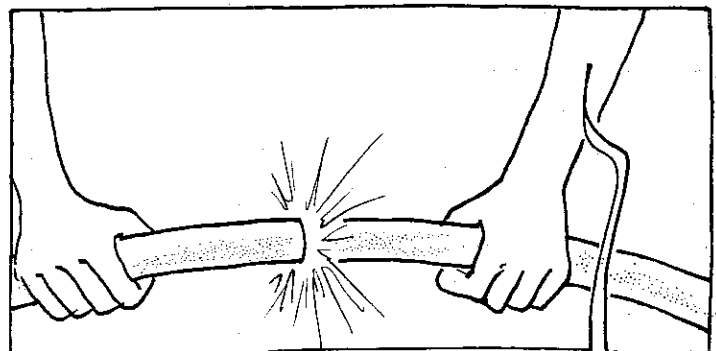
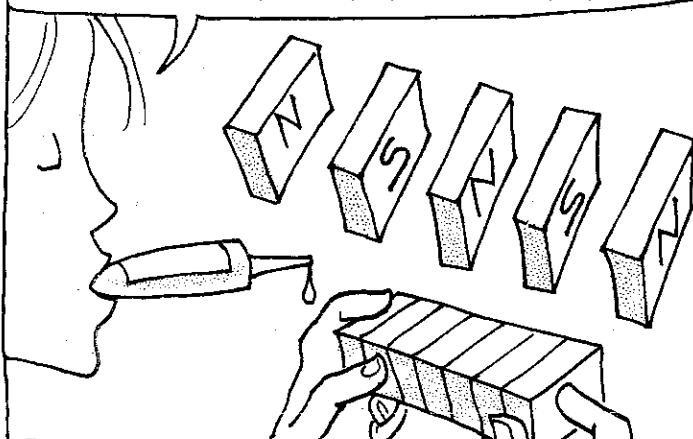
Så lustigt. Fältet nästan fördubblas i fogens plan.



Men... varför?

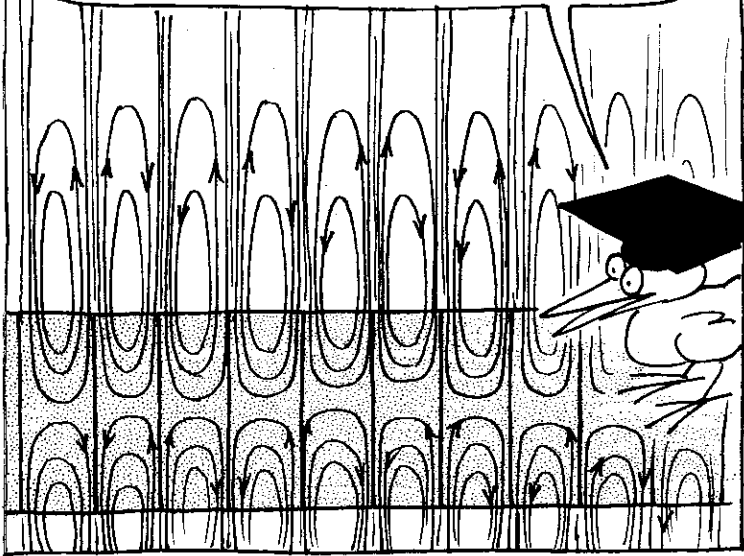
Magnetsmörgåsen är som en tub som sprutar ut ett magnetfält.

Nu gör jag en stapel av magneter med omväxlande riktning. Nordpol mot nordpol, sydpol mot sydpol.

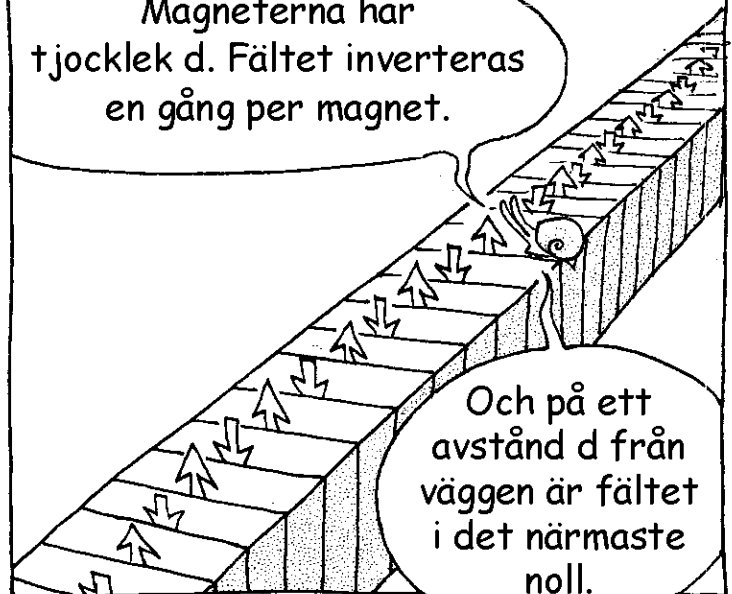


Om du riktar två vattensprutande slangar mot varandra, slungas vattnet ut i sidled med stor häftighet.

Så här ser B-fältets linjer ut.

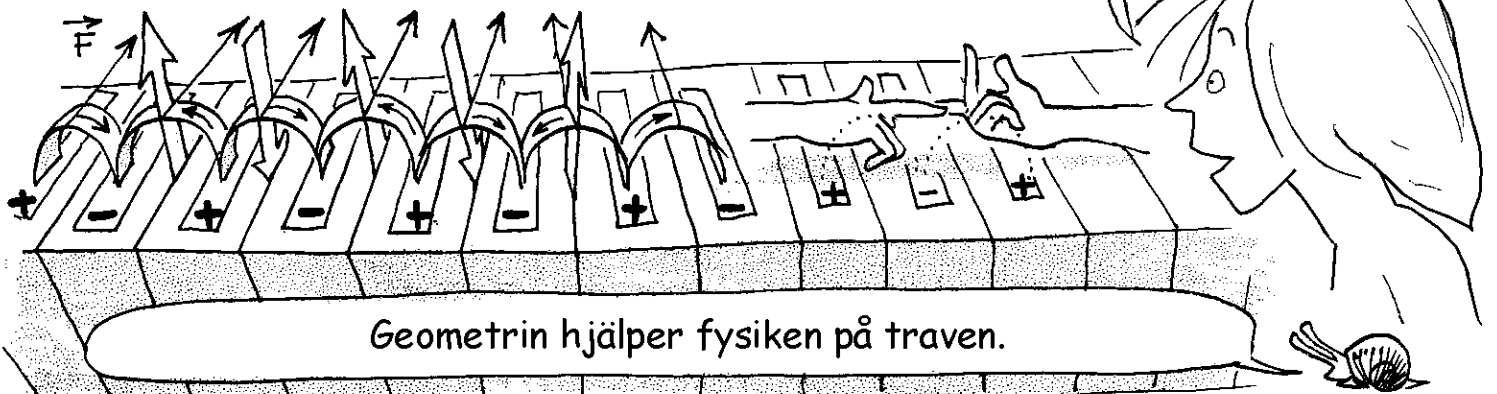


Magneterna har tjocklek d . Fältet inverteras en gång per magnet.



Och på ett avstånd d från väggen är fältet i det närmaste noll.

Jag har lagt till elektroder, så här, med omväxlande polaritet. Om jag tillämpar högerhandsregeln ser jag att jag skapat ett KRAFTFÄLT, överallt i samma riktning, som utgår från väggen och sträcker sig ett avstånd d .

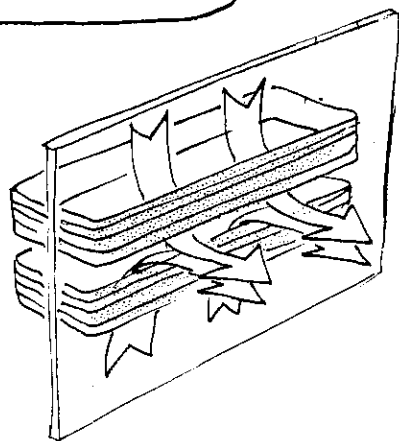
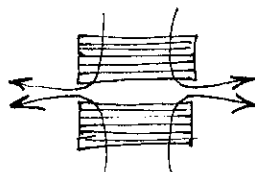
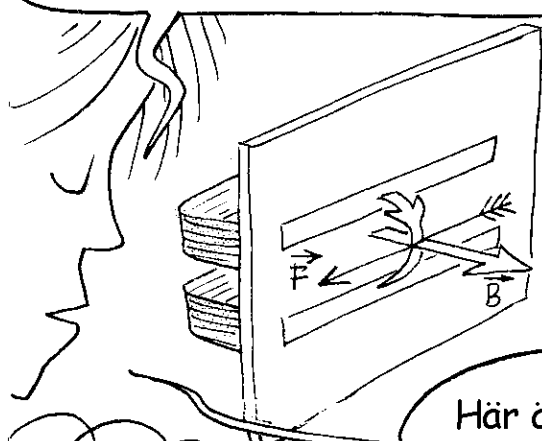


Geometrin hjälper fysiken på traven.

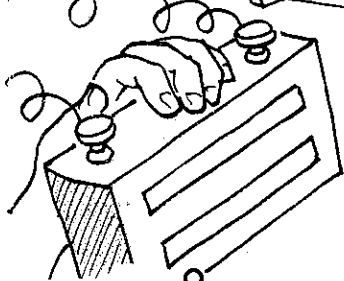
Att upprätthålla ett magnetfält kräver energi. Genom att begränsa fältet till ett tunt skikt nära väggen av magneter, håller du volymen nere, och energibehovet minskar.



I stället för magneter kan jag använda spolar.

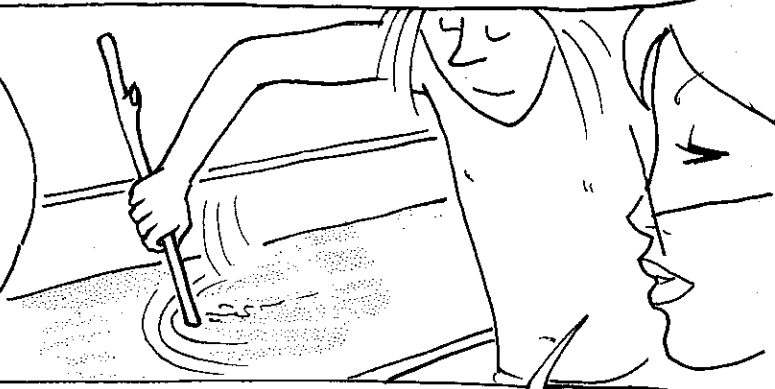
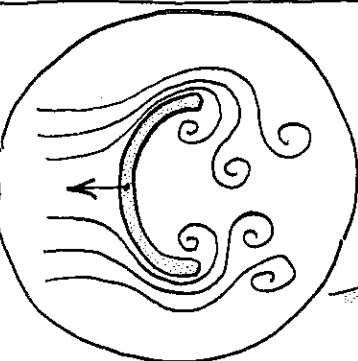


Här är ett enklare system, med två elektroder.



FLUIDMEKANIK PÅ ETT NYTT SÄTT

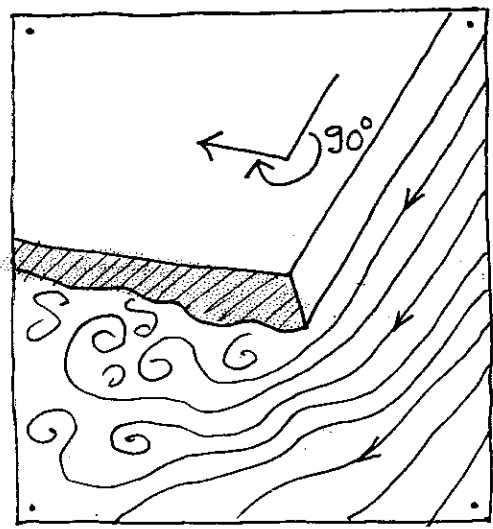
Vätskor, som massor i övrigt, har tröghet. Om du till exempel rör om en vätska alltför snabbt, släpper den från skeden.



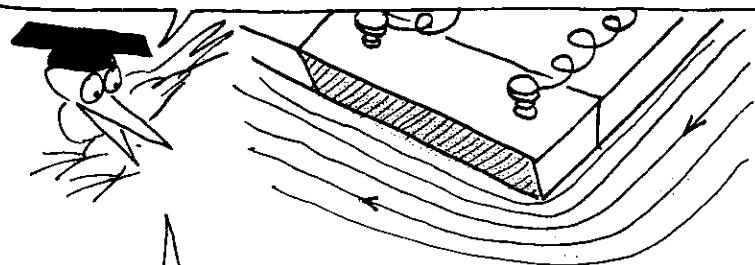
Och om du för ett objekt genom vätskan i alltför hög hastighet, så att vätskan inte hinner undan, uppstår en VÅGFRONT.

Så går det till när vätskan får bestämma. Men MHD innebär en radikal förändring av situationen.



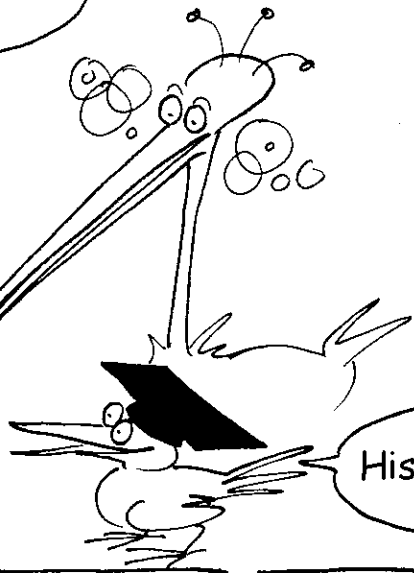
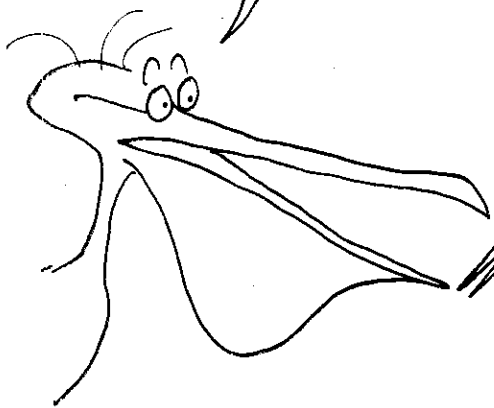


I klassisk fluidmekanik ger ett hörn upphov till **AVLÖSNING**, och **TURBULENS** uppstår.



Men lite **MHD** löser det problemet.

Vilka tokerier!
Det här är väl välkänt?



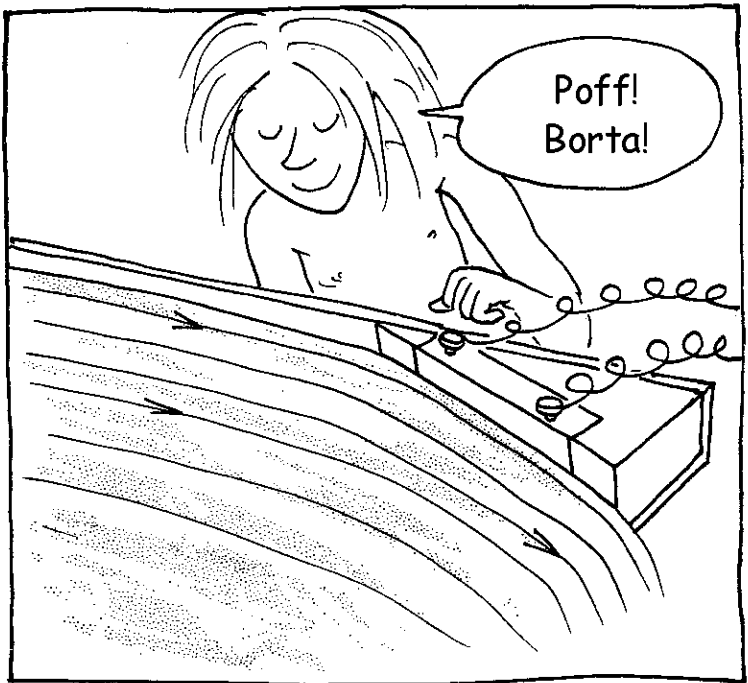
Du vinner,
oavsett!



Historien är onekligen turbulent...



Kommer ni ihåg **VÅGFRONTEN** framför hörnvinkeln?



Poff!
Borta!

Vi ska nog kunna
tämja flödet, trots allt.
När flödet saktar in, gasar vi,
och när det accelererar,
bromsar vi.

Här står inget...

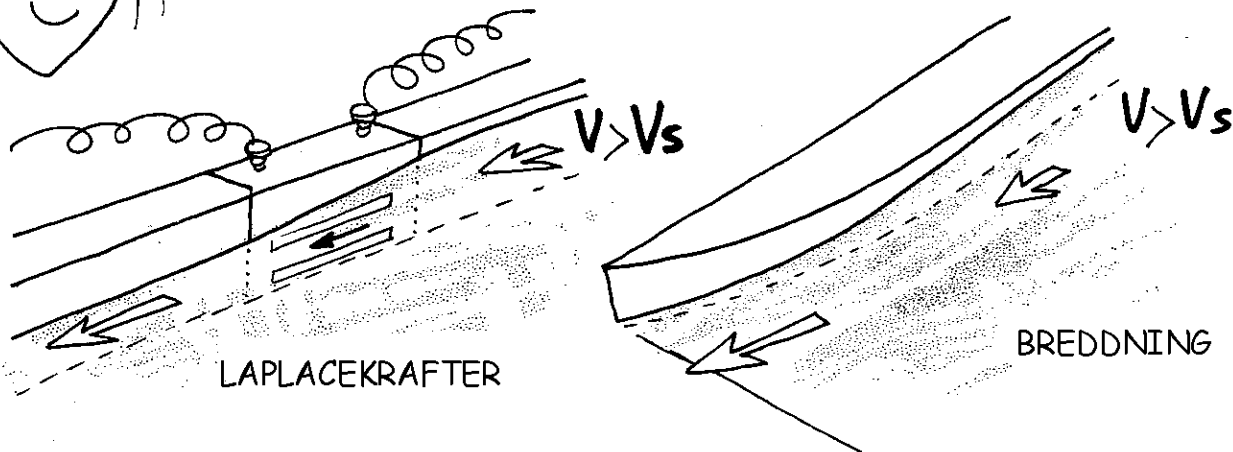
Svälj!

NAVIER &
STOKES
FLUID
MECHANICS

KOMPRESSIÖNSVÅGOR EXPANSIÖNSVÅGOR


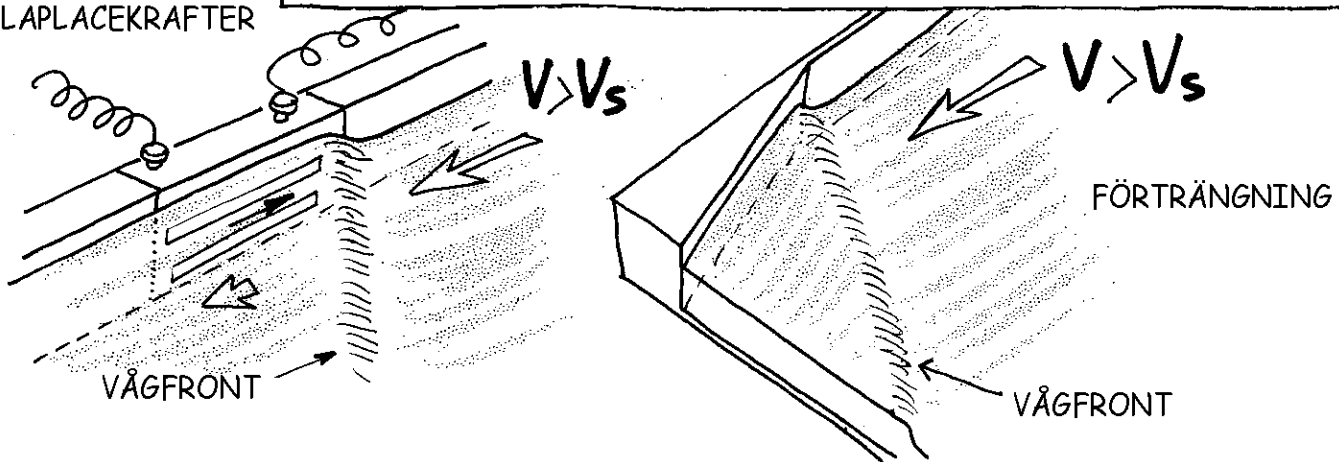
Vänta bara, Léon, det klarnar snart. Du är med på att när $V > V_s$,
så skapar ett hörn kompression eller dekompression. Men lägg märke till
att det magnetohydrodynamiska systemet har PRECIS SAMMA EFFEKT!

MHD-acceleratorn skapar också en sänkning
av vattenytan i kanalen.




MHD-deceleratorn skapar i stället en HÖJNING av vattenytan.

LAPLACEKRAFTER

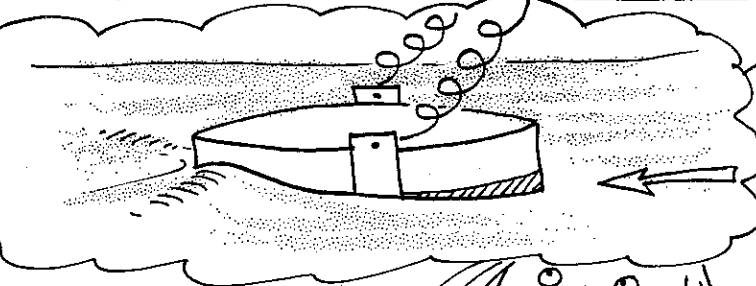


Så det borde gå att kompensera för de naturliga kompressionerna och dekompressionerna genom att lägga på artificiella laplacekrafter.



För att regularisera flödet runt skrovet, måste vi i görligaste mån förhindra att vattenytan höjs eller sänks. Det gör vi genom att accelerera eller decelerera flödet efter behov.

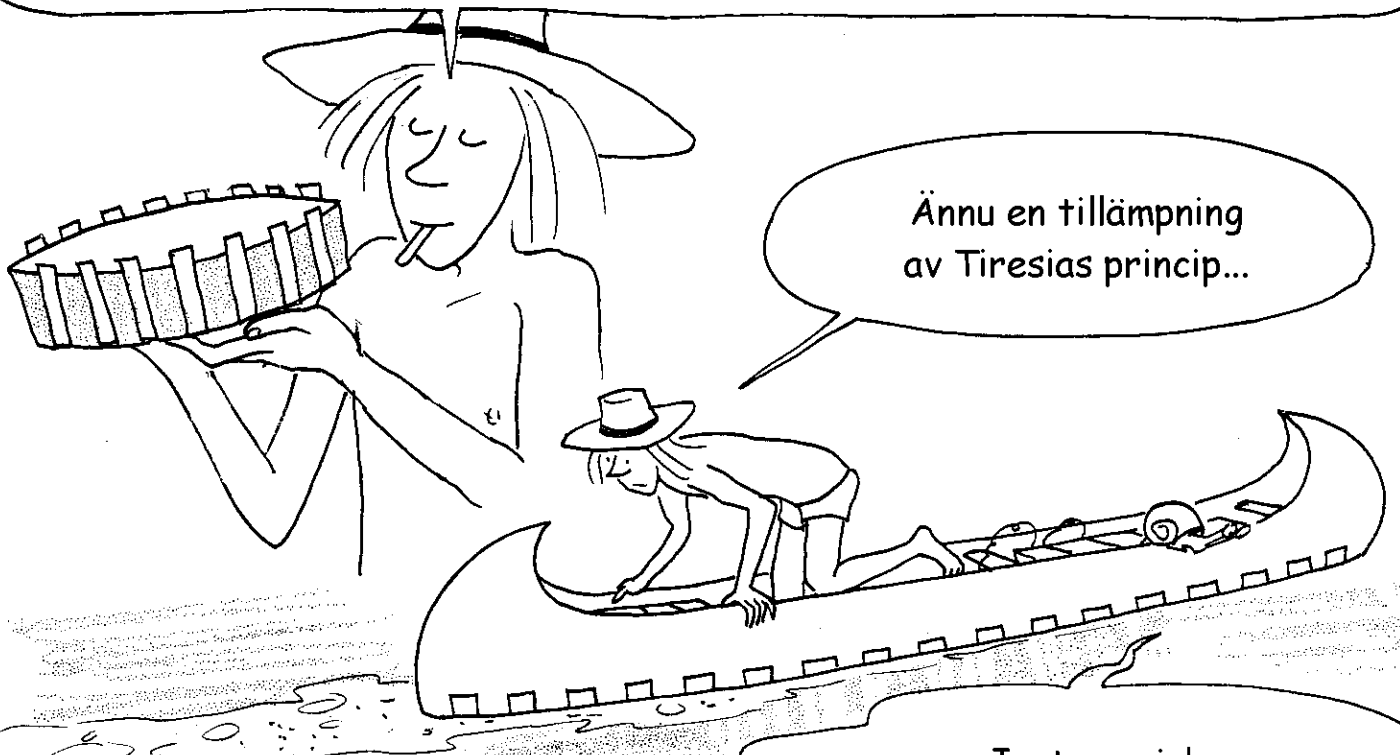
Det är en tillämpning av min princip:
LÄMNA VÄTSKAN SOM DU SJÄLV VILL FINNA DEN



I mitt experiment på s. 28 lyckades jag bli av med bogvågen. Men aktervågen kvarstod - och blev i själva verket större.

Det skedde just för att du sänkte vattenytan för mycket när du accelererade vattnet.

Du har rätt. Målet måste vara att hålla vattennivån konstant.
Det behövs en hel uppsättning elektroder längs skrovet,
för att accelerera eller bromsa vattnet.



Ännu en tillämpning
av Tiresias princip...

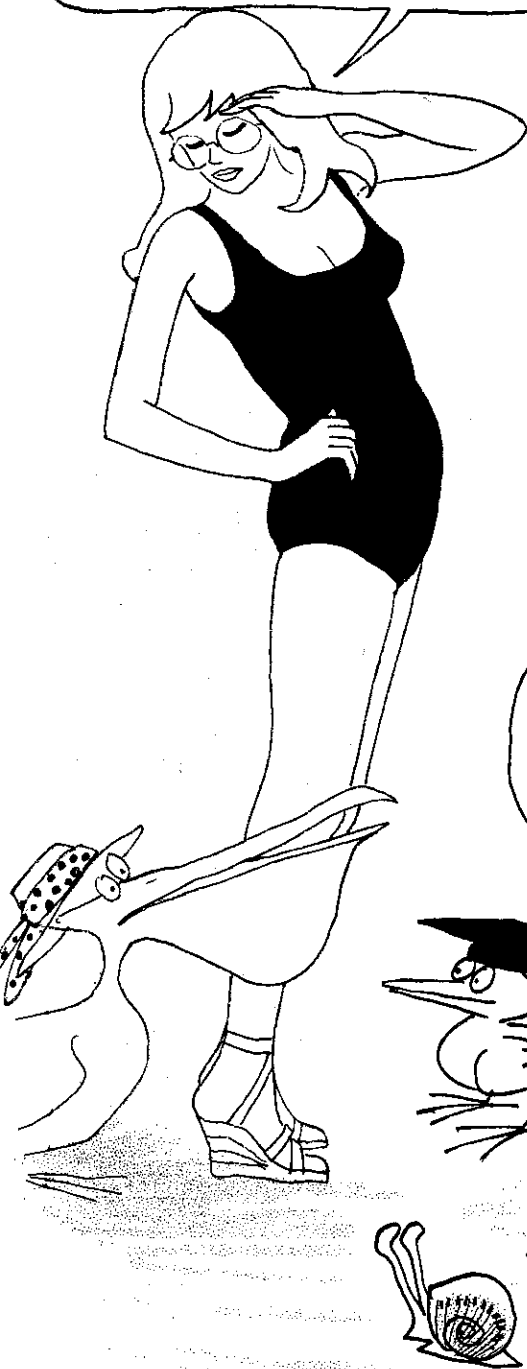
Just precis!
Städa upp efter dig! Din mamma jobbar inte här!
Jag vill inte se några vågor från akterstaven!

Vilken syn. Tjugo tesla,
och Anselms kanot skär genom
vattnet utan vågfronter eller
turbulens. Här går inga
bryggor sönder!

Vore det inte enklare
att hålla sig från havet?
Har ni inte mer angelägna
saker för er?



Det tycker jag inte. Jag tror att vi bör tänka igenom Anselms idéer, speciellt PARIETALACCELERATORN. Alla båtar möter ett motstånd i vattnet, skapat av friktionen mellan vattnet och skrovet. Men om VÅGFRONTER bildas, förändras tryckfördelningen på skrovet, och ett vågtåg uppstår. Det ökar snabbt med hastigheten och är det största hindret för att framföra båtar i hög hastighet.

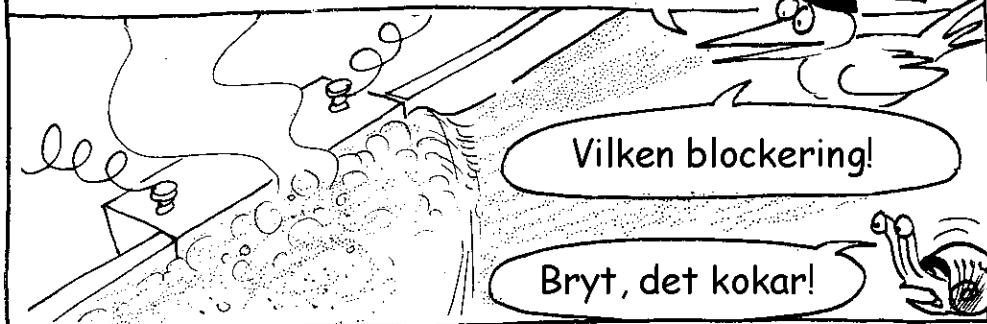


Vi vet ungefär hur mycket energi som krävs för att undertrycka en vågfront (*). Arbetet utfört av laplacekrafterna motsvarar vätskans kinetiska energi.

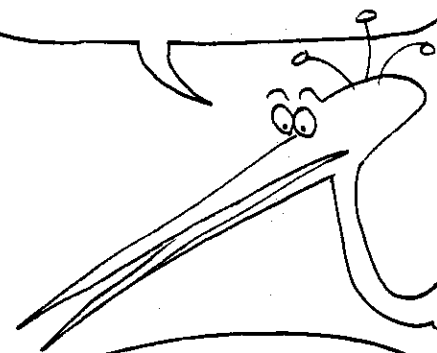
Så om båten går med hastighet V , måste laplacekraften IB överskrida ett visst tröskelvärde. (*)

(*) Se appendix B (s. 71).

Det är bäst att göra magnetfältet B så starkt som möjligt. Om vi försöker öka strömmen i blir verkningsgraden lägre, och elektrolys kommer att generera en stor mängd gas.



Tycker du inte att allt det här med elektromagnetisk drift är lite för avancerat för vår teknologi?



Inte då, vi måste uppfinna lite, bara!

UBÅTEN UTAN PROPELLER

Något säger mig att vår vän inte kommer att nöja sig än.



Det är en ubåt.



Är de där runda sakerna fönsterventiler?

Nej, Tiresias, de är elektroder. Nu återstår bara att installera spolarna.



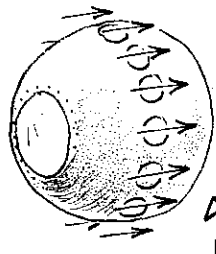
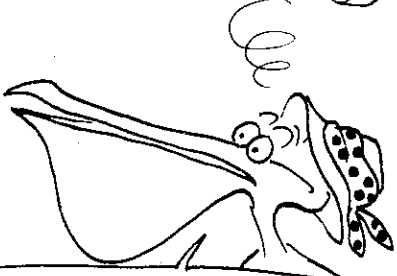
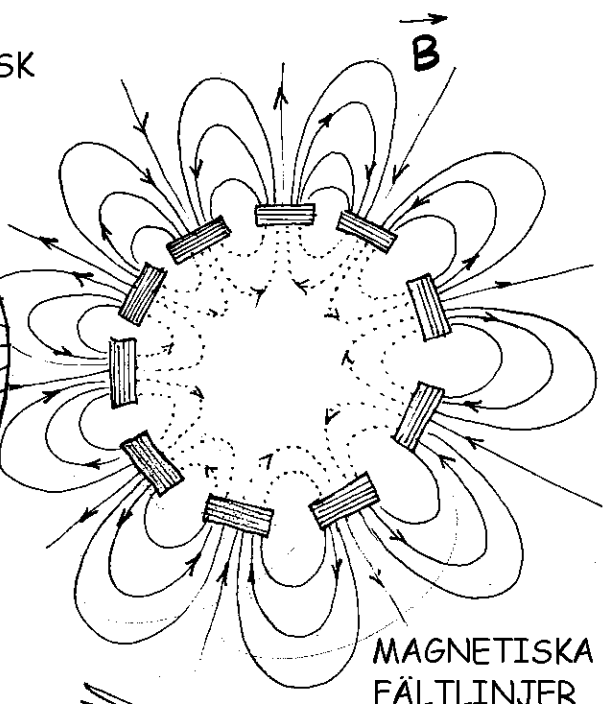
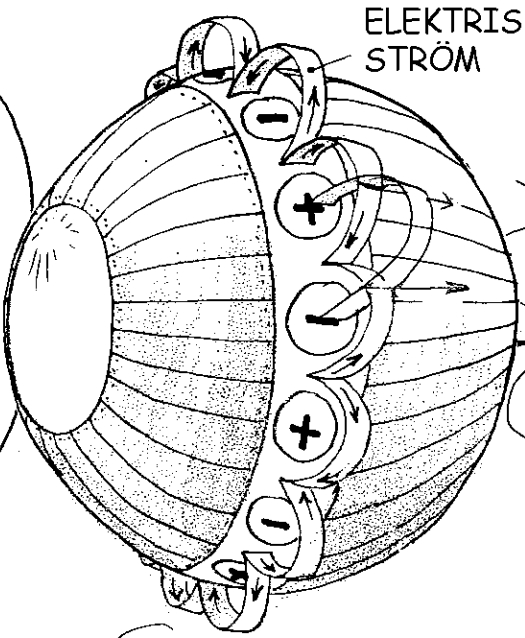
Varför är skrovet gjort av trä?

För att det inte ska leda ström!



Aha, där är fönstret!

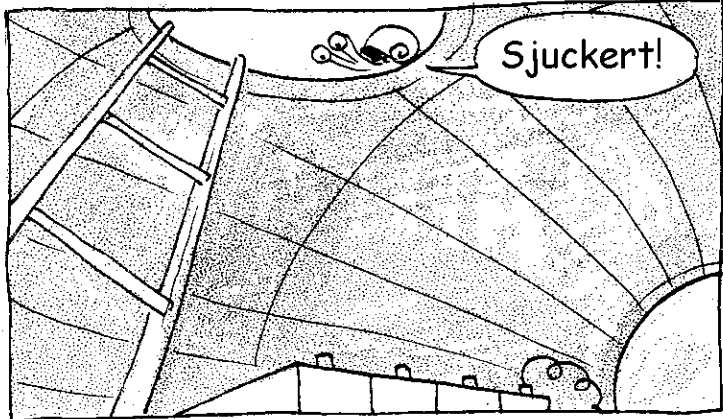
Genom att tillämpa högerhandsregeln kan du räkna ut kraftens riktning. Farkosten drivs framåt.



KRAFTER VERKANDE PÅ VÄTSKAN



Du tror väl inte att jag tänker sätta mig i den där?



Sjuckert!



Kom igen, Léon, stå inte där och glo!

Vi ska provköra HYDRODYNEN.



Nix, jag är trött på Anselms manicker!

Rena elektriska stolen!



Men jag har ju sagt att det är lågspänning!

Nej!

Jag vet inte vad ni tycker, men själv litar jag inte alls på den där oheliga manicken.

Samma här.

Det går framåt,
men hur styr vi?

Enkelt: justera
strömmen genom de
olika elektroderna.

Sväng...

... stanna...

... back i maskin!

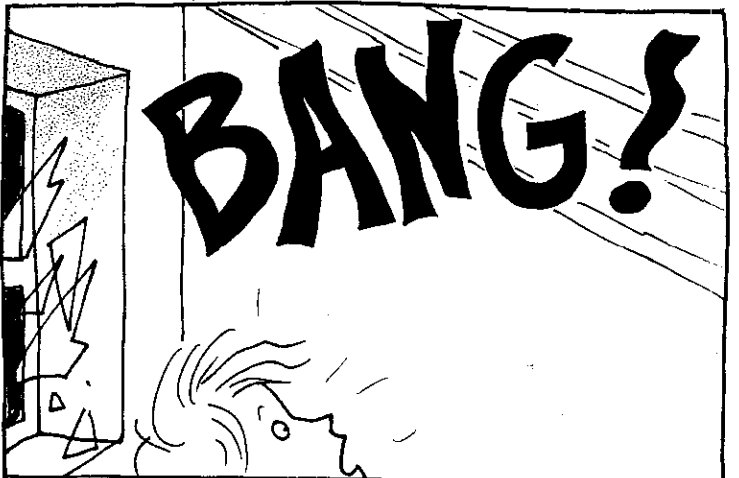
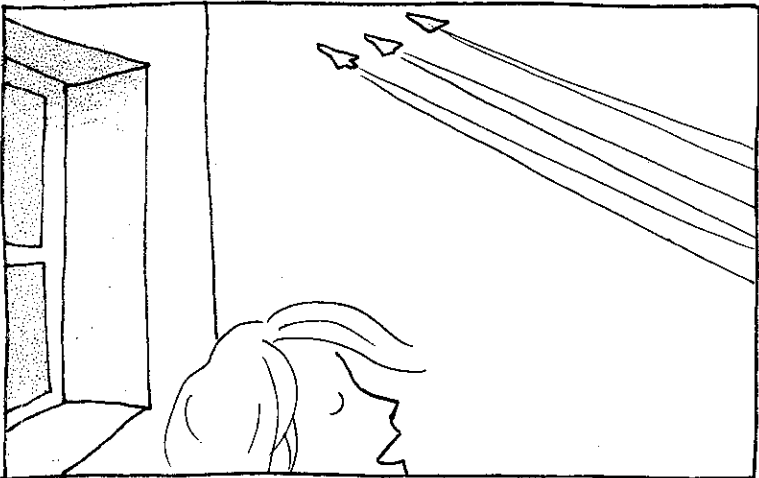
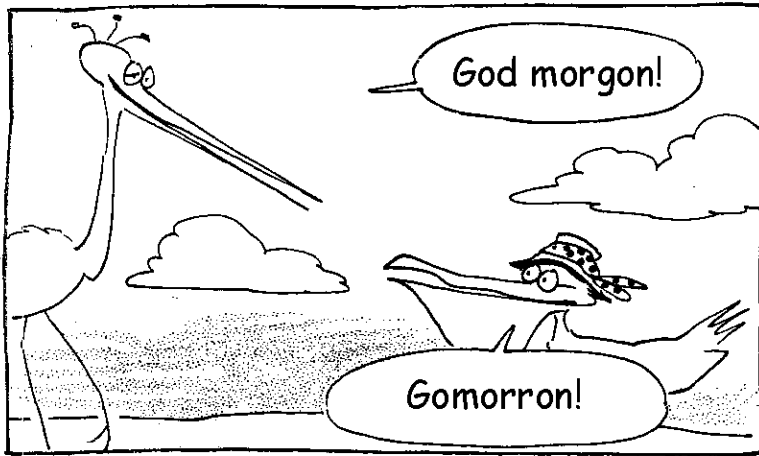
En MHD-ubåt vore både snabb
och fullständigt ljudlös.

Attans!

Så går det till, käre Léon.
När vi en dag har bra supraledande magneter (*) och effektiva
generatorer, kommer båtar inte längre att göra vågor,
och ubåtar kommer att blåsa bubblor.

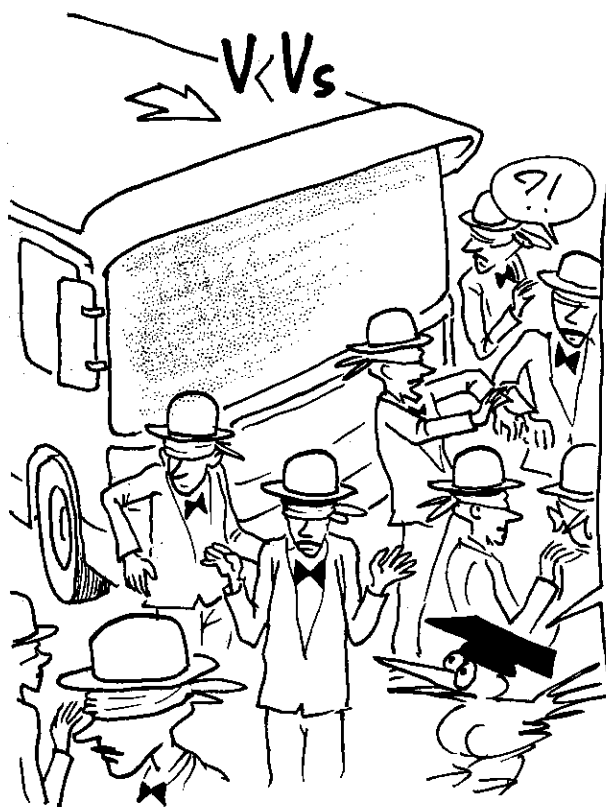
(*) Ett SUPRALEDANDE material, kylt till mycket låg temperatur (några få kelvin) leder ström utan motstånd och utan att förlora energi till värme.

NÄSTA DAG



SUPERSONISKA FLÖDEN

- **CHOCKVÅGEN** som krossade fönsterrutorna är lik **bogvågen** som krossade din brygga.
- Menar du att flygplan gör vågor?
- I någon mening, ja. Men inte ytvågor. De avger ljudvågor, som rör sig med ljudets hastighet V_s (*). När en båt överskrider V_s bildas en vågfront. När ett plan flyger fortare än V_s bildas en **chockvåg**.
- Men hur, det finns ju ingen fri yta?
- Luftens **TÄTHET** motsvarar vattendjupet. Ytvågor tenderar att ha en konstant höjd. På samma sätt tenderar ljudvågor att ha konstant densitet. **CHOCKVÅGOR** är de fronter där täthet, tryck och temperatur är förhöjda.



Man kan likna molekylernas rörelse vid förblindade fotgängare, som går med hastighet V_s i slumpmässiga riktningar och ständigt stöter på varandra. En kropp som passerar liknar en buss som kör in i folkmassan med en hastighet V . Om V är mindre än V_s hinner information om bussens ankomst fortplanta sig framåt. Fotgängarna hinner undan. Detta motsvarar subsoniskt flöde.

(* Se **SUG- OCH BLÅSDRIFT**, samme författare.

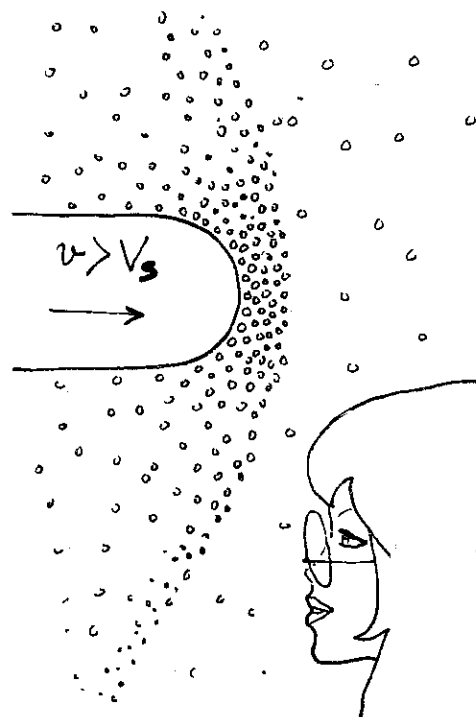
MEN vad händer om V är högre än V_s ?



Fotgängarna - molekylerna -
hinner inte längre undan innan
bussen kör in i dem. Framför
bussen bildas en hög med
trafikoffer, och densiteten
är högre just där.

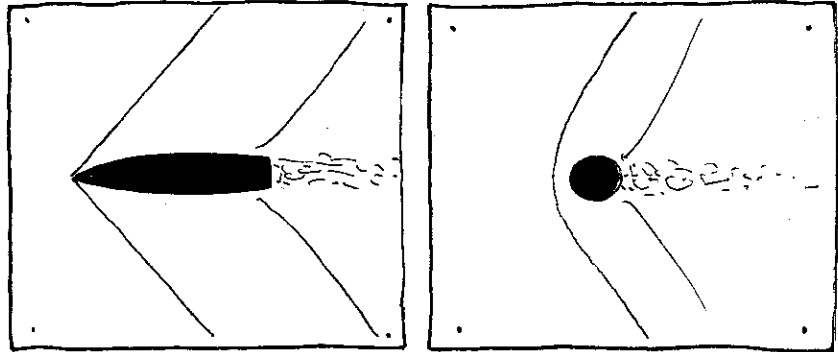
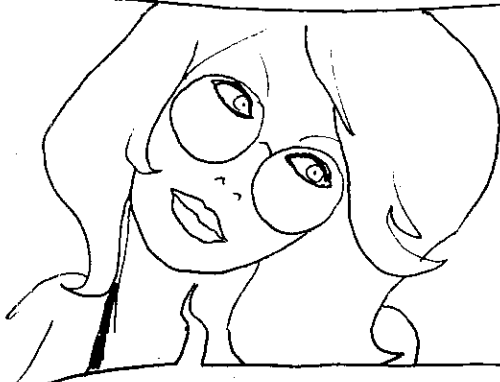


CHOCKVÅGOR



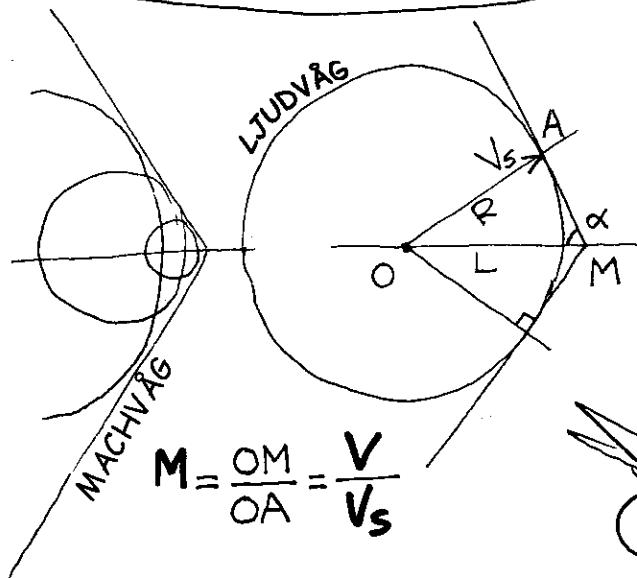
En **CHOCKVÅG** uppstår.
Här ersätter **LJUDVÅGOR** ytvågorna,
annars är det samma sak som en bogvåg.
Täthets-, tryck- och temperaturfronter bildas.
CHOCKVÅGEN bildas när hastigheten V
är högre än ljudhastigheten V_s .

Följden är i alla fall att varje gång de där fartdårarna tar en sväng i sina överljudsplan, måste jag byta alla fönsterrutor i huset!



Varje objekt som rör sig i överljudsfart har två chockvågor, en i framänden, en där bak. Till vänster ser vi en pistolkula, till höger en sfär.

Varje objekt, till och med ett sandkorn, skapar en chockvåg om $V > V_s$. Förhållandet $M = V/V_s$ kallas **MACHTALET**. Och om objektet är mycket litet, kallas chockvågen en **MACHVÅG**. (*)



(*) Se appendix A (s. 71).

Så vitt jag kan se är överljudsflöden i gaser inte så olika flöden med fria vattenytor. Det vi lärde oss på sidan 15 är fortfarande giltigt.

Under mellankrigstiden fanns inga datorer, och man beräknade chockvågornas form med hydrauliska analogmaskiner.

Skojar du?
En VATTENDATOR?

Det finns en användbar analogi mellan ekvationerna som beskriver de två systemen, där VATTENDJUPET motsvarar GASENS DENSITET.

Fint, nu behöver jag bara en SUPERSONISK VINDTUNNEL.

En bagatell!

Den här gången kan du väl ändå inte bygga en i köket!

En vindtunnel, det är en annan historia.

Du behöver stora turbiner och massor med energi!

Kanske kan du få anslag från Vetenskapsrådet.

LJUDVALLEN VÄRMEVALLEN

Med en supersonisk vindtunnel kan du iaktta många intressanta fenomen. Friktionen mot luften känns av vid alla hastigheter, men vid passagen genom LJUDVALLEN ($V = V_s$) ökar luftmotståndet, för ett motstånd från chockvågorna tillkommer.

Vad betyder det i praktiken?

ÖVERTRYCK

UNDERTRYCK

$V > V_s$

I hydrodynamiken påverkar vågfronterna tryckbalansen på skrovet, och verkningsgraden sjunker. Samma sak händer i supersonisk aerodynamik.

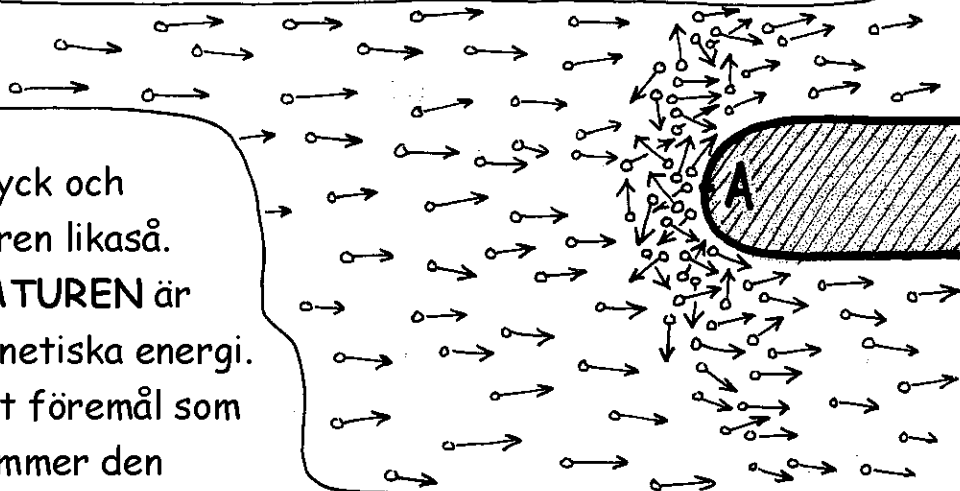
Det låter illa, och är framför allt ett slöseri med energi.

Trots att dess profil är optimerad för att minska luftmotståndet lägger en CONCORDE 40% av sin energi på att skapa chockvågor.

Om du skulle flyga över ett bebyggt område på låg höjd i MACH 5 eller 6, skulle allas tak rasa in.



Precis som vågen som förstörde landningsbryggan!



Över en chockvåg ökar tryck och densitet skarpt; temperaturen likaså. Den **ABSOLUTA TEMPERATUREN** är ett mått på molekylernas kinetiska energi. Om gasen kolliderar med ett föremål som rör sig med hastighet V , kommer den kinetiska energin att omvandlas till termisk energi vid stagnationspunkten A. Denna **STAGNATIONSTEMPERATUR** ökar som hastigheten i kvadrat.

Det glöder! På med skorna!

Detta fenomen, som blir märkbart från och med Mach 2, är ett allvarligt hinder för flygplan, som vi kunde kalla **VÄRMEVALLEN**.



För en given hastighet ökar värmeutvecklingen med luftens täthet.

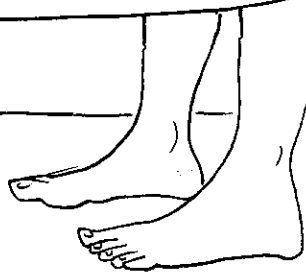
Vilket betyder att hypersonisk flygning på låg höjd är omöjligt!



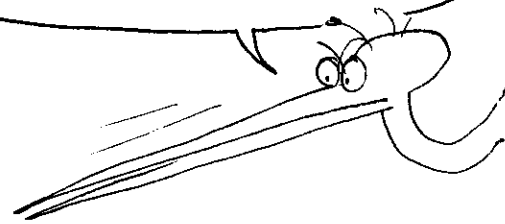
Supersonisk flygning på låg höjd är i vart fall möjligt. Men kan man inte göra det utan att ha sönder fönsterrutor?



Det skulle gå om man kunde bygga farkoster som inte skapar chockvågor när de går snabbare än ljudet.



Helt omöjligt, fattar du väl. Annars hade man gjort det för länge sedan!



Låt se. När chockvågen bildas, är det som med bogvågen: de ankommande molekylerna kan inte förvarnas av en ljudvåg, för farkosten rör sig snabbare än ljudet. Så de komprimeras, och en chockvåg uppstår.



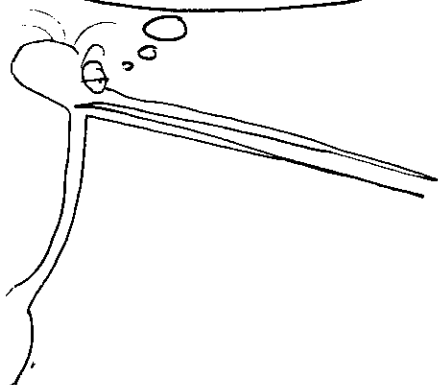
Men tricket med laplacekrafter ger oss en nytt sätt att angripa problemet med chockvågor.



Tiresias, spana in det här foto av MHD-flödet på sid. 30, runt en cylinder. Är det inte ganska likt en sugeffekt?



Vem bryr sig?



Det stämmer, i de hydraliska experimenten lyckades du suga in vattnet föröver, och skapa en vågdal.



Frågan är hur vi kan utvidga analogin.



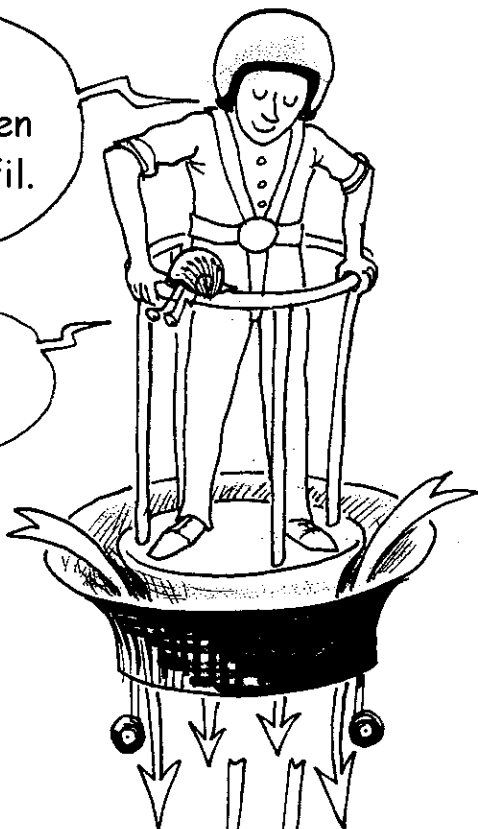
Om den hydrauliska analogin är giltig,
finns det väsentligen **TRE SÄTT ATT FLYGA.**

Nämligen?

För att flyga måste du på något
vis få molekyler i luften över
dig att röra sig nedåt.

Första metoden:
jag åstadkommer rörelsen
med hjälp av en vingprofil.

Men var är vingen?
Jag ser bara två
motgående rotoror.



Skojare där!
En rotor är bara en
vinge som roterar.

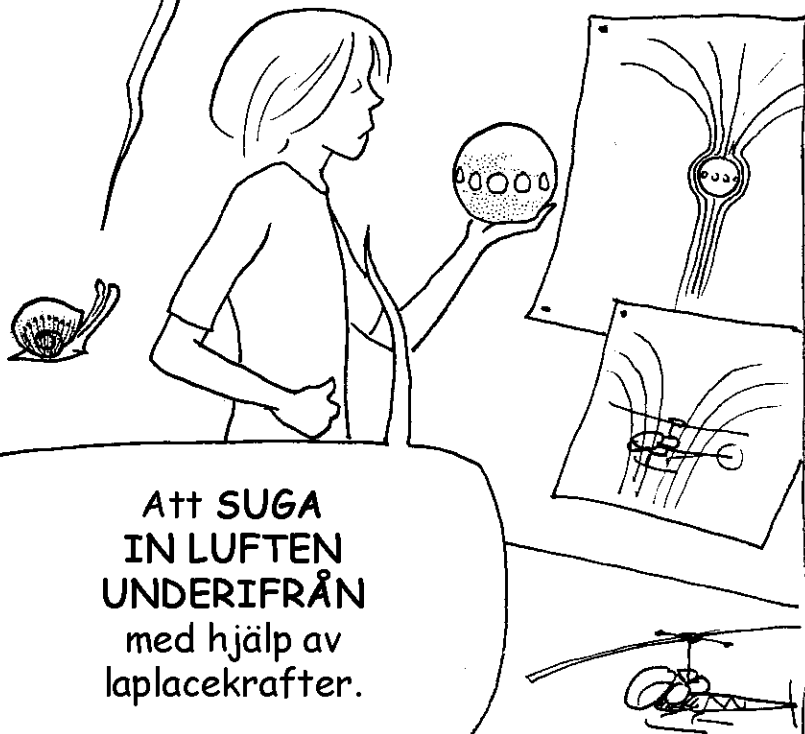
Såklart...

Så här kan man iaktta
den **INDUCERADE
HASTIGHETEN.**

Andra metoden: accelerera en gas som du själv avger.



Och nummer tre?



Hörde du samma sak som jag?



De har förlorat markkontakten, båda två.

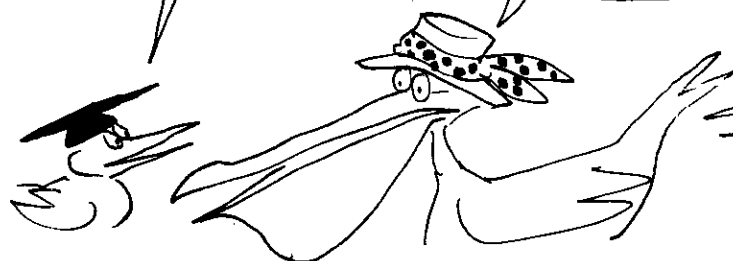
Och Sofie är väl på stranden som vanligt!



Vad gäller saken?

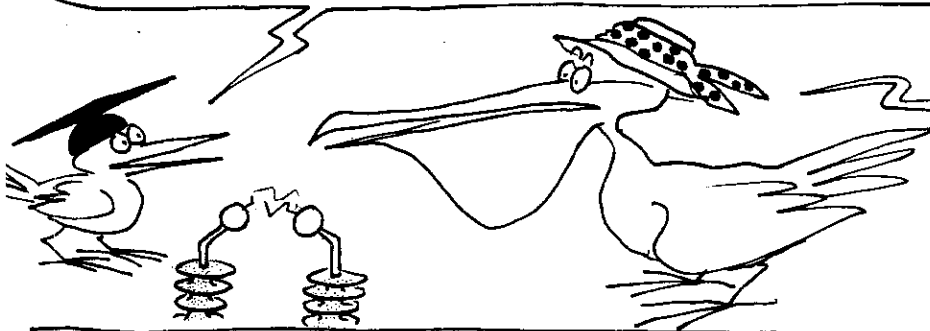
Anselm har gått och blivit tokig. Han tänker flyga med elektricitet.

Jag sa precis till Léon att det är omöjligt, för luften leder inte ström.



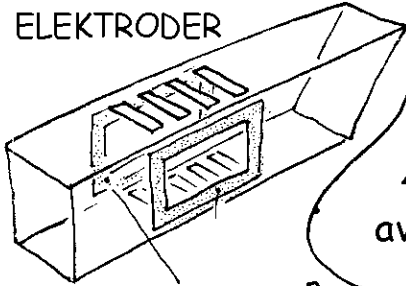
Den är en ISOLATOR.

Men vänta lite! Det beror faktiskt på det elektriska fältets styrka. Med andra ord, förhållandet mellan spänningen och avståndet mellan elektroderna. Om fältstyrkan är tretusen volt per millimeter, sker genomslag!



Så när får vi se en elektrisk Concorde?

ELEKTRODER



SOLENOIDER



Se bara: om magnetfältet B är 4 tesla (40000 gauss) (*) och strömstätheten en ampere per kvadratcentimeter (tiotusen ampere per kvadratmeter) blir laplacekraften 40000 newton per kubikmeter. Det motsvarar ungefär vikten av fyra ton. En motor vars volym är en kvadratmeter kan lyfta totalt fyra ton.

FYRA TON!

Nu tar vi det lilla lugna! Tretusen volt per millimeter blir tre miljoner volt per meter!



Tänka sig, vilka laplacekrafter.



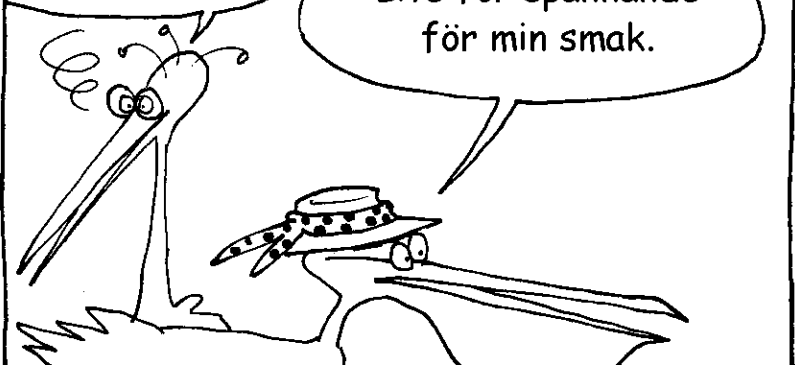
Jag vet en kul tillämpning av sådana spänningar.

Jaha, vaddå?



Åskan.

Åskan?



Lite för spännande för min smak.

(*) Cirka 100 gånger mer än en vanlig magnet för knappnålar.

Sofie! Kom och kolla! Anselm har något alldeles extra på gång! Han tänker flyga med elektricitet!

Jisses. Jag kommer.

Men tänk efter! Du behöver ett kylsystem för supraledarna, och en högspänningsgenerator. Hur tungt kommer inte det att bli?

Försök lika gärna flyga med ett kärnkraftverk!

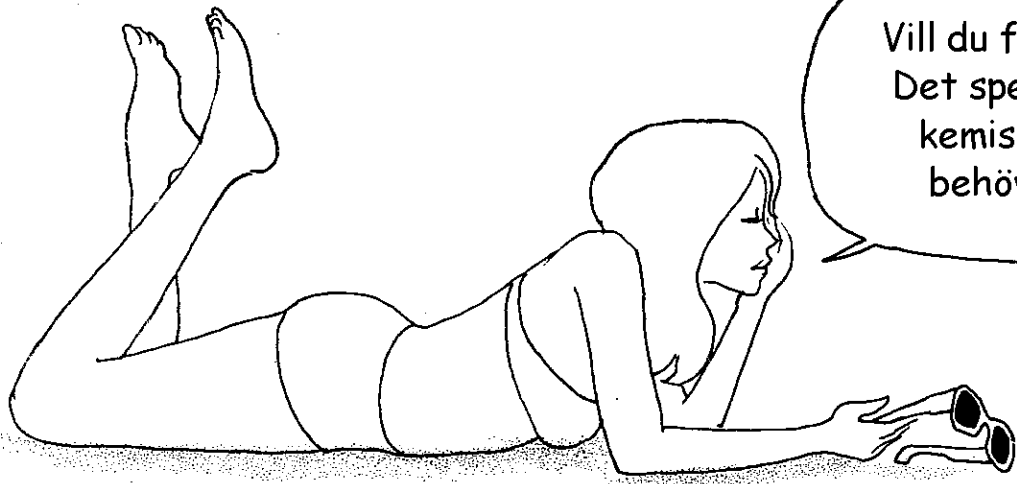
Flyga med elektricitet, det är omöjligt.

Jaså?
Hur flyger den där, så?

Det gills inte, den har en propeller...

Och solceller med!

Men vad är en MHD-drivenhet annat än ett slags ELEKTROMAGNETISK PROPELLER?



Vill du flyga, behöver du **ENERGI**.
Det spelar ingen roll om källan är kemisk eller elektrisk, men du behöver en tillräcklig mängd.



Sett ur detta perspektiv är flygkonsten bara en fråga om **EFFEKTÄTHET** vid en given hastighet.

40 km/h

PEDAL- ELLER ELDRIVET PLAN

10 watt per kilo

60 km/h

BRÖDERNA WRIGHTS FLYGPLAN

100 watt per kilo

250 km/h

PRIVATPLAN

300 watt per kilo

700 km/h

STRIDSFLYGPLAN FRÅN ANDRA VÄRLDSKRIGET

800 watt per kilo

2700 km/h

STRIDSFLYGPLAN FRÅN DET KOMMANDE VÄRLDSKRIGET

5000 watt per kilo

20.000 watt per kilo

Rymdfärjan!



Om jag förstätt saken rätt, producerar ett kärnkraftverk en kilowatt per kilogram, men ser ni kärnkraftverk flyga?

Tio ton för hundra megawatt, det är omöjligt!

Nå?
Sofie?

Rackarns Vetgirig!
Nu måste vi utvidga våra idéer om vätskor och flöden till gaser: växelverkanskriteriet och den resulterande verkningsgraden.
Det måste finnas en hake, låt se...

Nå?

I experimentet på sidan 43 ledde för stor tillförsel av energi till **BLOCKERING**.

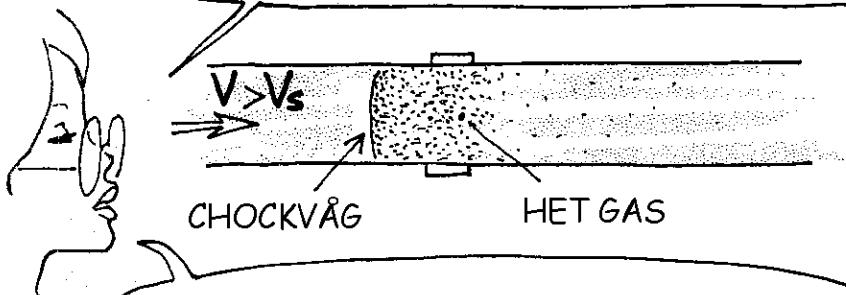
V_1/V_s

TERMISK BLOCKERING

Kan ett motsvarande fenomen i en gas motverka MHD-driften?



Man kan verkligen **BLOCKERA** ett supersoniskt flöde med **VÄRME**. I en rent elektrisk urladdning (inget magnetfält) betar sig gasbubblorna som i en trafikstockning, och en chockvåg bildas.



Det är en **TERMISK BLOCKERING**.

Så Anselms försök är dömt att misslyckas?



Kanske inte. Det beror på luftens **ELEKTRISKA KONDUKTIVITET** (och de olika sätten att påverka den). Om konduktiviteten är hög nog (*) blir värmespillet måttligt och blockering behöver inte uppstå.

Se på Anselm.

Han har somnat.

Vilken överraskning...

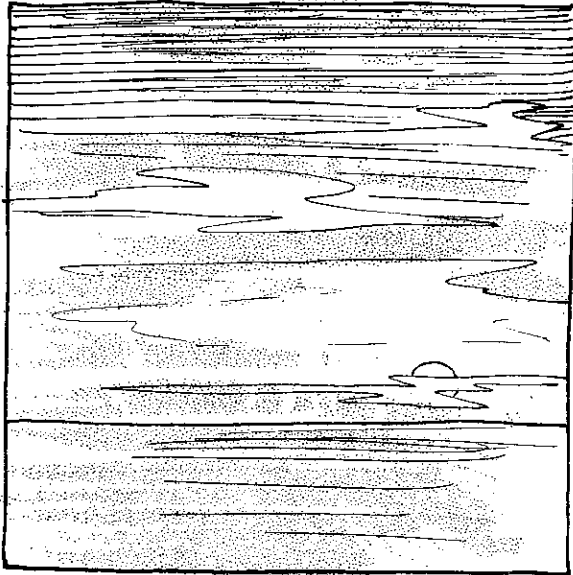


Vad tror du om allt det här?

Givet att teknologin som behövs inte kommer att finnas förrän om kanske ett århundrade, kan man undra om det är värt besväret att tänka på sådana saker.

Men kan det inte ha ett egenvärde som grundforskning?

Tja, vem vet, kanske ändå?



Pust... vilken dag.

Sov, kära grundforskare.



ANSELMS DRÖM

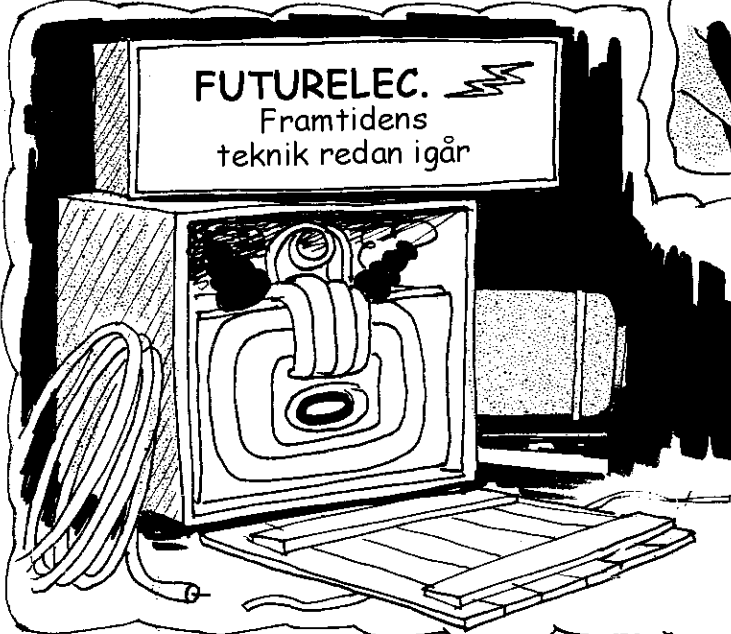


Öhh... va... jaa?

Herr Vetgirig?
Det var beställt en 200 MW elektrisk generator, en 10 MW mikrovågskälla, en rulle med supraledande ledning, total vikt tjugo ton?



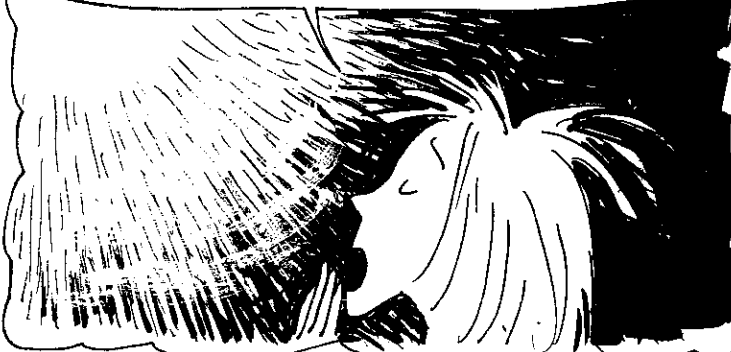
En kråka här, tack.



Gäsp!

Prima vara, Anselm. När börjar vi bygga?

Vilken konstig lastbil han hade, Tiresias. Såg du?



Aldrig sett dess like!
Nåja...



Är det dags?
Är det dags?

Varför är den så tillplattad?
Har någon suttit på den?

Den formen passar bättre för
att utnyttja DEKOMPRESSIONEN ovanför
och KOMPRESSIÖNEN under.

Först ska vi tänka på **MAGNETFÄLTET**.
Med de supraledande ledarna kan jag få
strömmen att flyta i alternerande
riktningar, så här.

Ledarna kyls till låg temperatur
med flytande helium.

⊙ ⊗ vektorer vinkelräta mot figurens
plan

⊙ riktad mot
⊗ riktad inåt

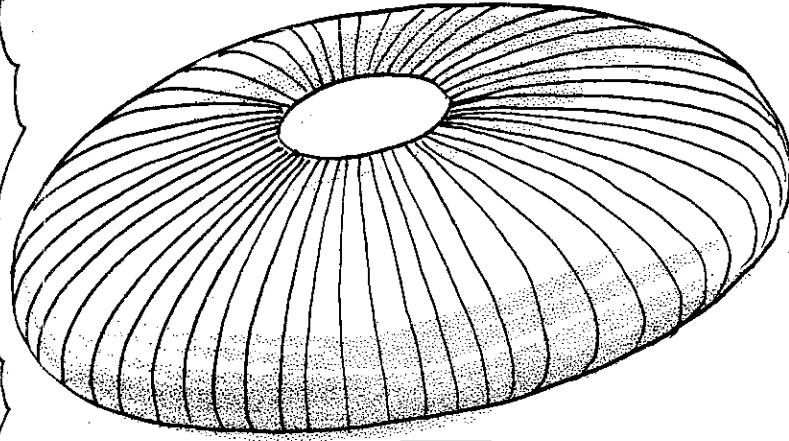
Parallella ledare, och strömmen går åt
höger i varannan och vänster i varannan.

Vi får ett magnetfält som byter
riktning en gång per d millimeter.

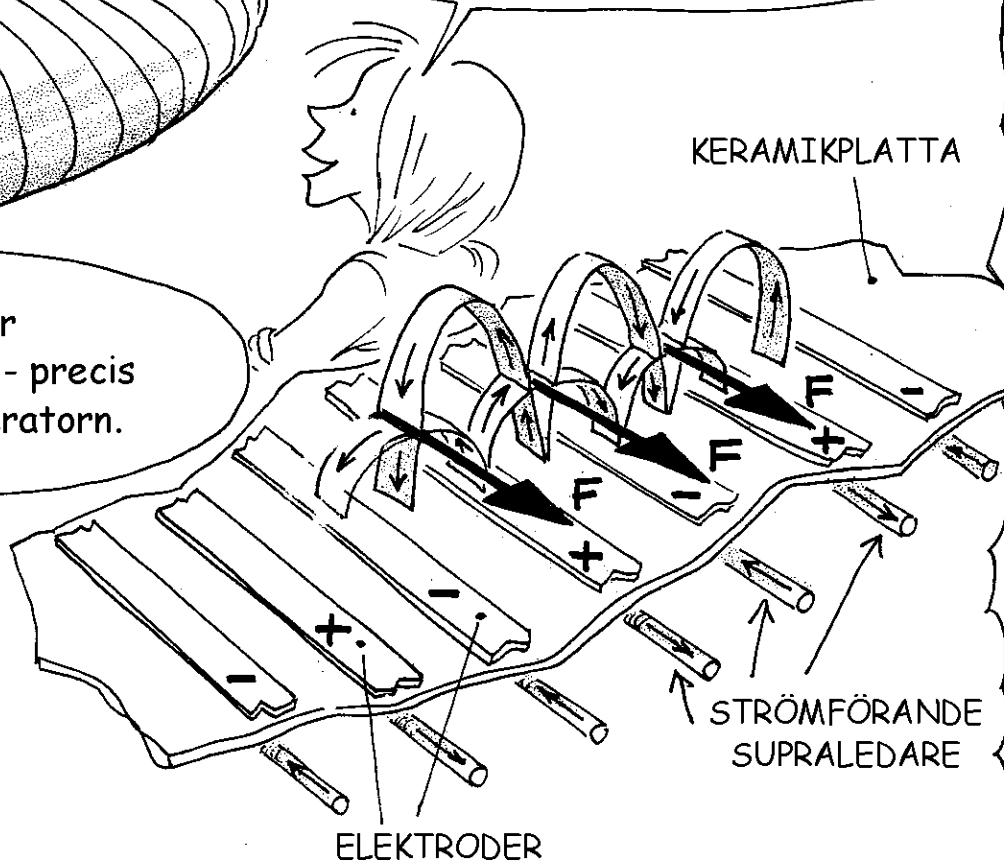
Ledarna följer ellipsoidens meridianer.

Och jag täcker dem med
tunna keramikplattor.

Utanpå plattorna sätter jag elektroder, också de i meridianernas riktning.

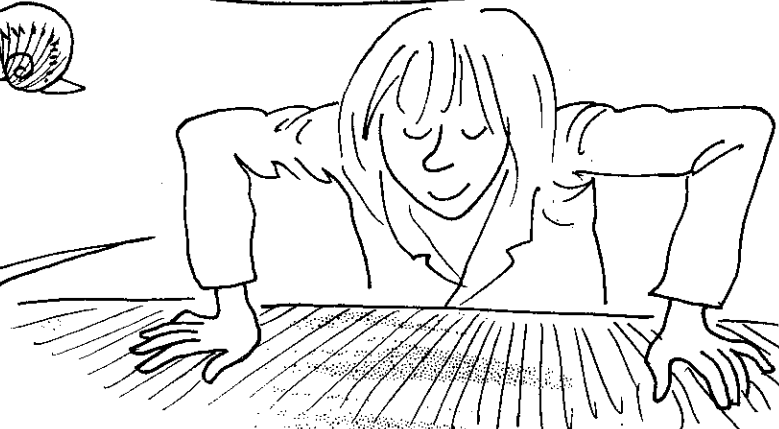


Och du alternerar elektrodernas polaritet - precis som med parietalacceleratoren.



Därigenom skapas ett slags **KRAFTFÄLT** kring apparaten.

Jag kan linda ledarna och elektroderna väldigt tätt, vilket har flera fördelar.



För det första behöver
elektrodena lägre spänning.

För det andra minskar det volymen i vilken
magnetfältet genereras: i praktiken maskinens
area gånger avståndet mellan ledningarna.

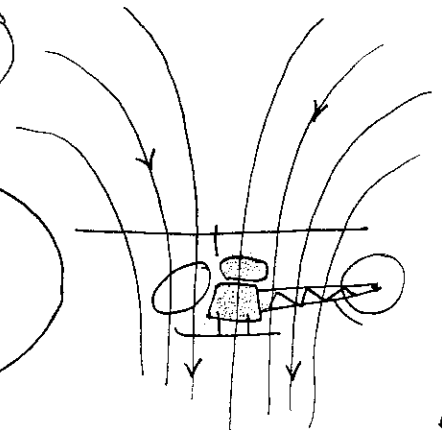
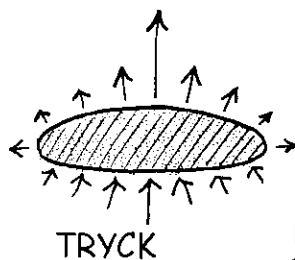
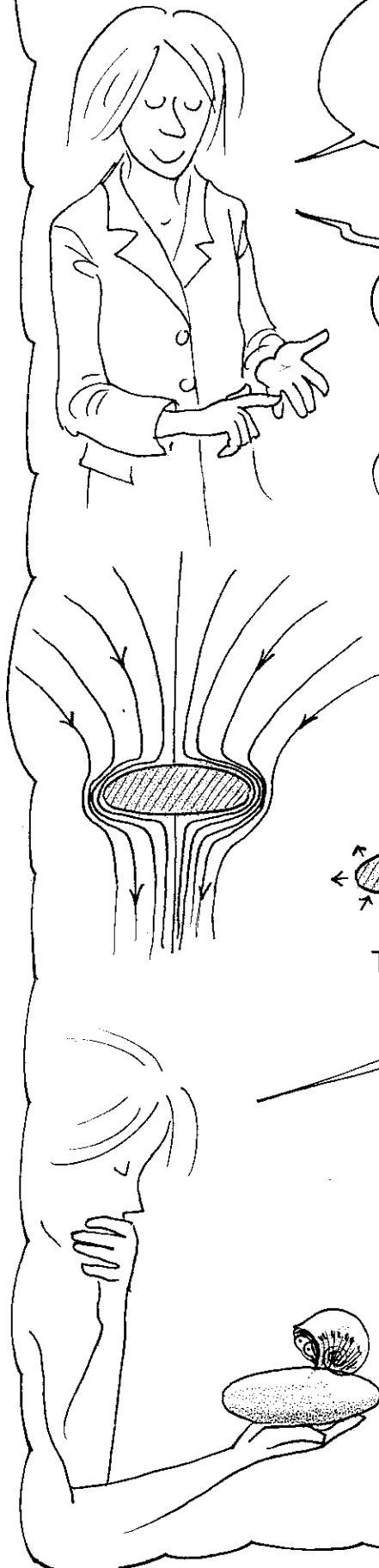
För det tredje sker processen i ett tunt lager,
och joniseringen underlättas.

Och så här ser det
resulterande gasflödet ut.

Lite som en
elektromagnetisk
helikopter.

Nu gäller det bara att jonisera
luften tillräckligt, alltså skapa nog
med **FRIA ELEKTRONER**.

Om elektroderna är en millimeter
från varandra och du lägger tusen volt över
dem borde elektronerna slitas bort från
atomerna och strömmen kan flyta.



PROBLEMET MED JONISERING

Den komponent i luften som tillhandahåller fria elektroner är varken syre eller kväve, utan kväveoxid (NO). Jag tänker helt enkelt berika luften med ett ämne som avger rikligt med fria elektroner, såsom cesium eller natrium.

Så vi borrar PORER i keramikplattorna och släpper ut små mängder cesiumånga under flykt.

Ombord har Anselm en växelströmgenerator som producerar ett högfrekvent elektriskt fält i den omgivande luften (tretusen MHz)

Dessa mikrovågor absorberas av luftlagret runt maskinen, och skapar också fria elektroner.

PLASMALAGER

En gasmolekyls bana

JONISERING

AVJONISERING OCH
UTSÄNDNING AV LJUS

Sådär, det var allt, tror jag.
En monitor kopplad till små kameror
på farkostens yta låter oss
se vart vi flyger.

Klart för start?

Vad är DET DÄR
för pryl?

Jonisering!

Tusan också! Léon
och hans vän är där ute...

Den lyser rött,
som om den
glöder...

De bör
akta sig för
mikrovågorna!

Fort iväg! Hoppas att de klarar sig!

Dra in landningsstället!

Vilken grej,
man flyger den som
en helikopter.

!?

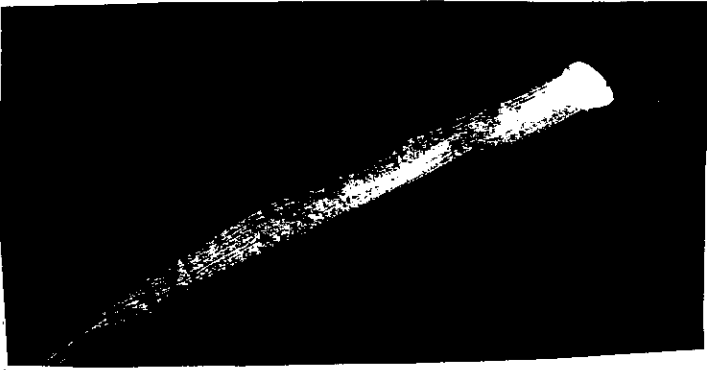
Sofie!

Men i stället för att
vinkla rotorbladen kontrollerar
man strömmarna.

Se på de där två! Vad kan ha hänt dem?
De ser ut att ha sett ett spöke.


Konstigt. Som om de fått
en hjärnskakning...

MHD-AERODYNEN flyger vidare,
efterlämnande en långt, lysande spår
av cesiumånga.



Eld i maskin!

Effekten ökar,
och maskinen liknar mer och
mer en fallande stjärna.



Vilken kärra!
Jag tror vi flyger med
fyra eller fem gånger
ljudets hastighet!

Säg, Anselm...nu när vi kontrollerar
gasflödet som vi vill, flyger vi utan
turbulens och chockvågor,

eller hur?

Ja, visst.

Alltså: **UTAN LJUD.**

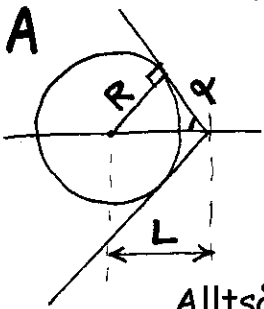
Först var det **LJUDVALLEN**...
sedan **VÄRMEVALLEN**... och nu
tror jag bestämt vi har passerat...



TYSTNADSVALLEN.

SLUT

TEKNISKA APPENDIX




Efter en tid t , har en våg utbredd sig till en radie $R = V_s t$, medan objektet rört sig en sträcka $L = Vt$.

Alltså: $\frac{V}{V_s} = \frac{L}{R}$ $\sin \alpha = \frac{V_s}{V} = \frac{R}{L}$

B Det är möjligt att styra vågorna om den mottagna energin per volymsenhet, **JBL** (arbetet utträttat av laplacekraften över en karakteristisk längd) är större än den kinetiska energin $1/2 \rho V^2$.

I saltvatten begränsar elektrolysen **J** till 1 A/cm^2 (10^4 A/m^2). Antag att $V = 8 \text{ cm/s}$.

 Om cylinderns mått är 8 mm ($8 \times 10^{-3} \text{ m}$), och den karakteristiska längden är elektrodens storlek: $2 \times 10^{-3} \text{ m}$, och $\rho = 10^3 \text{ Kg/m}^3$. Om $B = 1 \text{ tesla}$ (10.000 gauss) är förhållandet mellan energierna $S = 2JBL/\rho V^2 = 25$.

BOGVÅGEN kan utsläckas

C Båtens drivkraft motsvarar vikten 1 gram , alltså 10^{-3} kg eller 10^{-2} newton . Den färdas i 0.1 m/s , viket motsvarar en effekt av 10^{-3} watt . Generatoren ger 25 volt och 20 ampere , alltså 500 watt . Verkningsgraden är $\eta = 10^{-3}/500 = 2 \times 10^{-6}$. Vätska passerar acceleratoren på en tid t , så drifteffekten blir JBL/t . Men L/t är hastigheten V . Värmeförlusten är J^2/σ där σ är den elektriska konduktiviteten.

Verkningsgraden blir $\eta = \frac{JBV}{JBV + J^2/\sigma}$

$\sigma = 10 \text{ S/m}$

$B = 25 \text{ tesla}$

$V = 20 \text{ m/s}$

$J = 10^4 \text{ A/m}^2$

$\eta = 0,33$

Verkningsgraden ökar med **V**

D

Övertrycket i stagnationspunkten blir ungefär $1/2 \rho V^2$, där ρ är luftens täthet ($1,3 \text{ kg/m}^3$) och V är föremålets hastighet. Om tvärsnittsarean är 1 m^2 , blir förlusteffekten

$P = 1/2 \rho V^3$

$V = 600 \text{ m/s}$ $P = 140$

$V = 1500 \text{ m/s}$ $P = 2190$

E

MHD-driftens effekttäthet är **JBV**. Med $J = 10^4 \text{ A/m}^2$, $B = 4 \text{ tesla}$, $V = 1000 \text{ m/s}$ fås $JBV = 40 \text{ MW/m}^3$. Om luftens elektriska konduktivitet (ur jämvikt) uppnår 10 S/m , som saltvatten, blir värmeutvecklingen J^2/σ lika med 10 MW/m^3 . Det är görligt. Bäst vore att göra **B** så starkt som möjligt (20 tesla) och att på konstgjord väg öka konduktiviteten σ (genom att avge en alkalimetall, eller mha mikrovågor).

