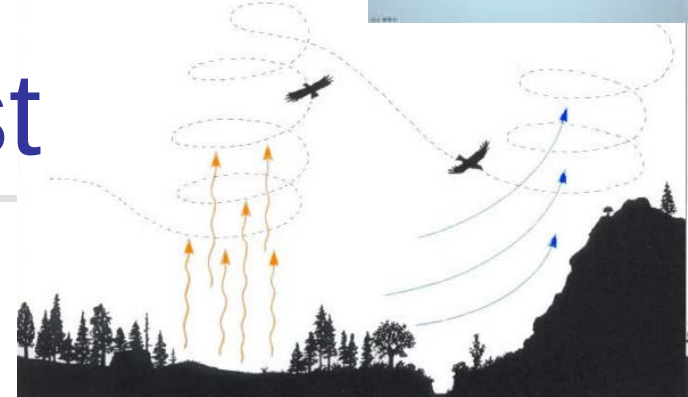


Linnulennuline ülevaade kursusest

- Sissejuhatus
- Matemaatiline põhivara
- Liikumine
- **Energia ja entroopia**
 - Energia avaldusvormid ja jäävus
 - Energia, töö ja võimsuse vahekord
 - Jõu ja energia vahekord
 - Entroopia mõiste
 - Energia tootmine ja tarbimine
- Elekter ja magnetism
- Põhiteadmisi kvantfüüsikast

Soaring Flight



- **Eesmärgiks** on saada ettekujutus molekulaarse (sh bioloogilise) aine ehitusest ja funktsioneerimise üldistest seaduspärasustest
- **Bioloogiline füüsika** kitsamalt uurib füüsika põhipostulaatide kehtivust ja asjakohasust bioloogiliste küsimuste lahendamisel

Energia

- Newtoni füüsika keskne mõiste on jõud
- Kaasaegses füüsikas aga energia
- Mõiste (kr k **aktiivne**) juurutas aastal 1807 **Thomas Young**, sama mees, kes sai optikas kuulsaks kahe pilu interferentsikatsetega (1801), aga ka vana-Egiptuse tekstide tõlkimisega
- Panus: Clausius, Joul, Mayer, Helmholtz, Kelvin, Boltzmann, Einstein, Planck
- Tänapäeval on energia tähtis geopoliitiline faktor



Eesti kultuuriloost:

Wilhelm Ostwald (1853-1932)



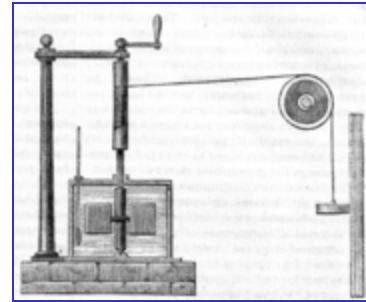
- Oli esimesi, kes mõistis, et energia on füüsikaliste ja bioloogiliste teaduste põhimõiste
- Balti-saksa päritolu füüsikalise keemia rajajaid Ostwald sündis Riias
- On ainuke TÜ-ga otseselt seotud Nobeli preemia laureaat (1909)
Tema Nobeli loengu pealkiri kõlas: *On Catalysis*
 - Lõpetas TÜ keemiaosakonna 1875 ja töötas samas aastatel 1877-1881 kui *unpaid academic lecturer*
 - 1881. valiti Riia Polütehnikumi professoriks; 6 a hiljem Leipzigi Ülikooli professoriks
- Tõi keemiasse *mooli* mõiste (~1900)
 - Sellega ei nõustu mõned allikad, mis väidavad, et erinevalt Boltzmannist ei uskunud Ostwald aatomite olemasolusse; Aine atomaarne/molekulaarne struktuur kinnistus lõplikult peale Einsteini doktoritööd (1905), milles ta arendas välja molekulaarsete vedelike statistilise teooria
- Oli suurepärase mentor: 3 tema õpilast said samuti Nobeli preemia (kaks veel enne Ostwaldi ennast: Van't Hoff (1901), Arrhenius (1903), Nernst (1920))

Julius Robert von Mayer (1814 –1878),
a German physician and physicist

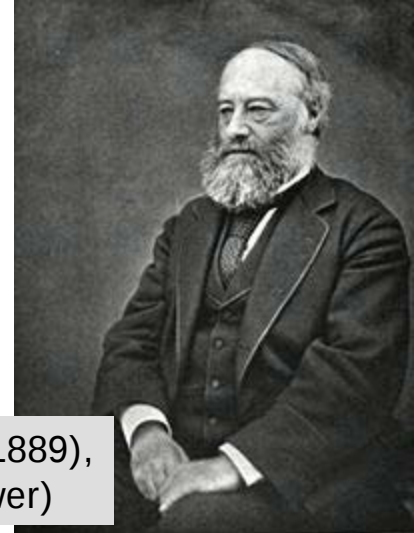


Energia on jääv

- Energia on **mateeria liikumise** ja **vastastikmõjude** üldistatud kvantitatiivne mõõt
- **Isoleeritud süsteemides** (süsteemid, mis ei vaheta keskkonnaga ei ainet ega energiat) energia ei teki ega kao, kuid võib muutuda ühest vormist teise
 - Nt pendli võnkumisel



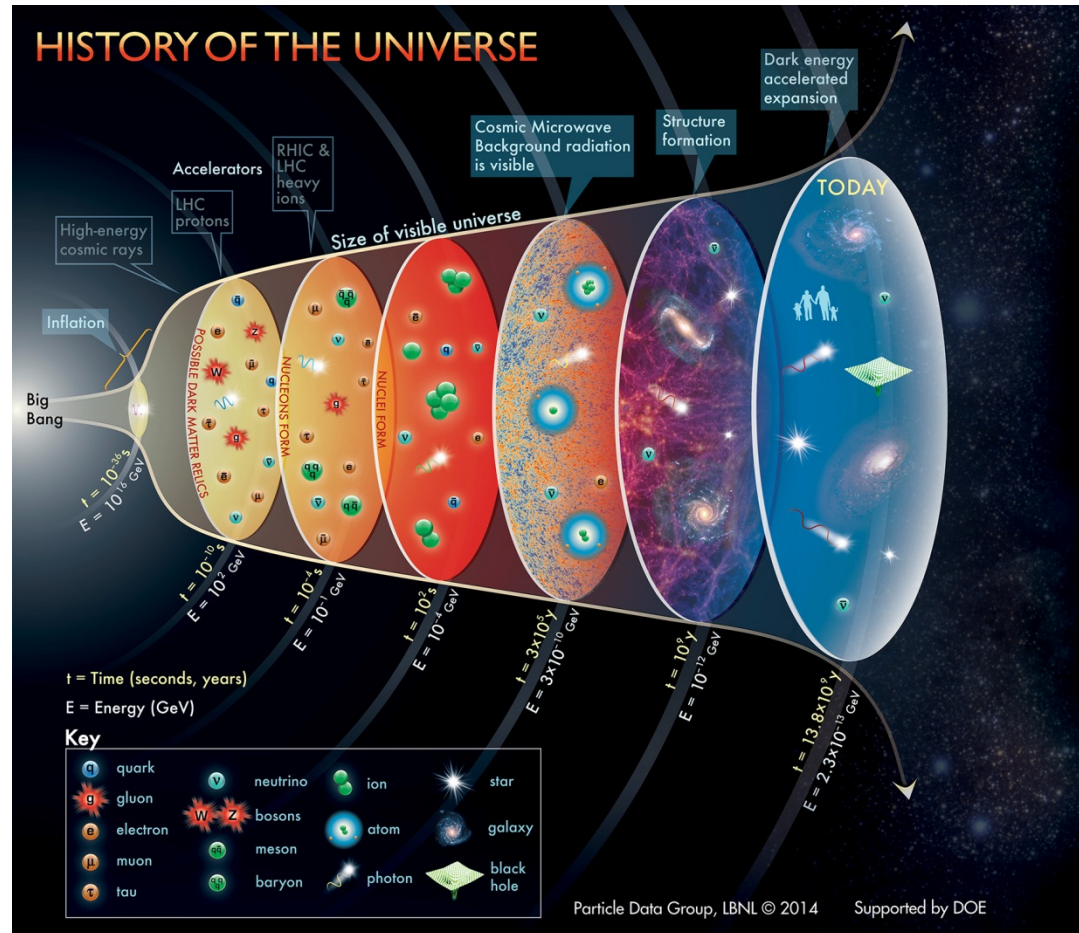
James Prescott Joule (1818 –1889),
an English physicist (and brewer)



Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821 –1894),
a German physician and physicist

Energia ja liikumine

- Energia jäävuse seisukohalt on liikumine absoluutne
- Kui on energia, siis on ka liikumine
 - nt seisumassita footon
- Primaarne on seega energia, mitte liikumine
- Arusaam liikumise absoluutsusest on kooskõlas nii mikro-(kvantmehaanika) kui makromailma seadustega



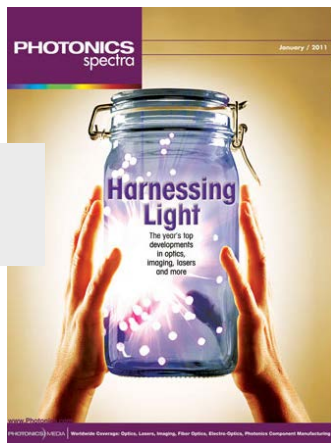
Energia võib muutuda ühest vormist teise

- Energia avaldub erinevates vormides:
 - gravitatsioon
 - soojus
 - kehade deformatsioonienergia
 - valgus
 - tuumaenergia
 - keemiline energia
 - jne
- Need vormid erinevad üksteisest energia tööks konverteerimise efektiivsuse poolest



Energiat (erinevalt nt jõust) saab koguda ja säilitada

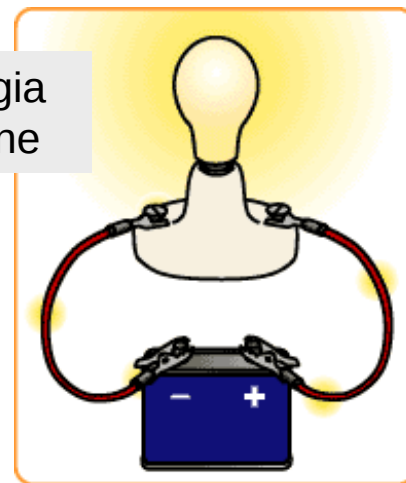
Valgusenergia salvestamine:
fotosüntees



Hüdroenergia salvestamine:
Hooveri tamm Colorado jõel



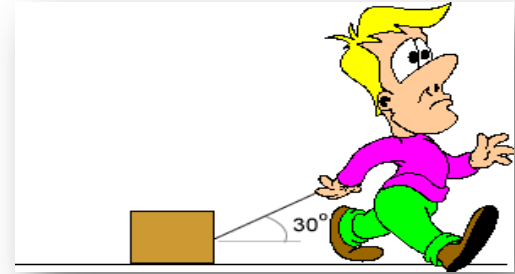
Elektrienergia
salvestamine



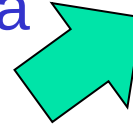
Elastse deformatsioonienergia
salvestamine



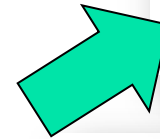
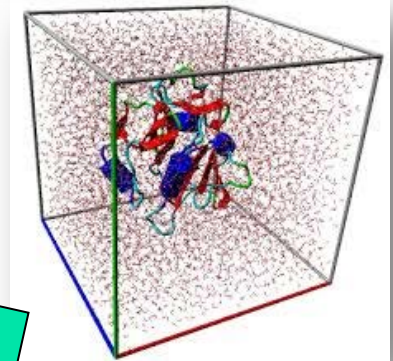
Energia ja töö



Töö on ühelt kehalt teisele energia ülekande viis

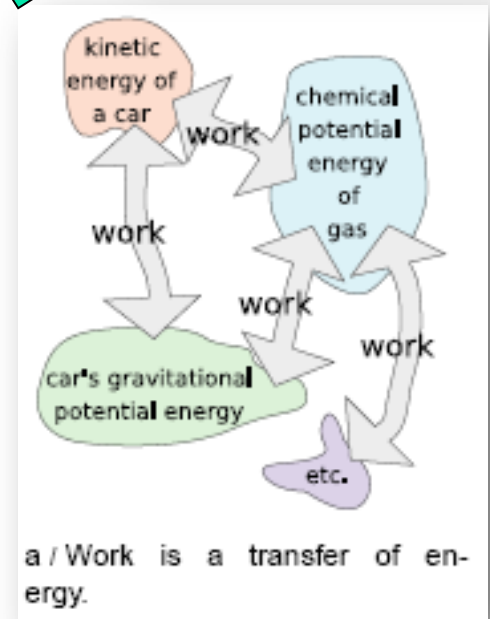


- **Mehaanikas** ka ainuke viis, seepärast defineeritakse seal energiat kitsalt kui **töötegemise võimet**. Mehaaniline töö tähistab seega antud kehale teise objekti (jõu) poolt edastatud energiat
- Erinevalt massiivsetest mehaanilistest kehadest „vaakumis“, asuvad **biomolekulid** alati soojuslikult aktiivses keskkonnas, mis neile olulist mõju avaldab; Bioloogilised mehhanismid põhinevad enamasti füüsikalisel käitumisel, mis eksisteerib nanoskaalas

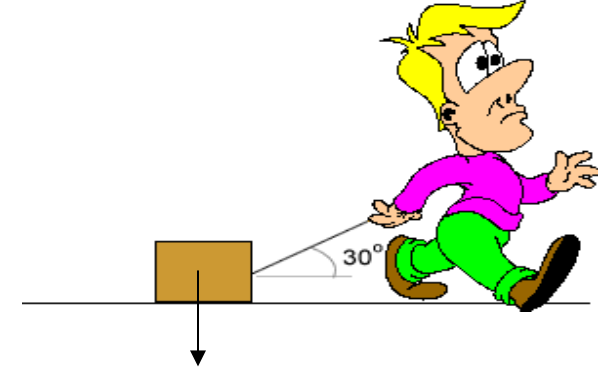


Seepärast tuleb üldjuhul rääkida kahest energia ülekande viisist:

- Töö vormis
- Soojuse vormis



Mehaaniline töö



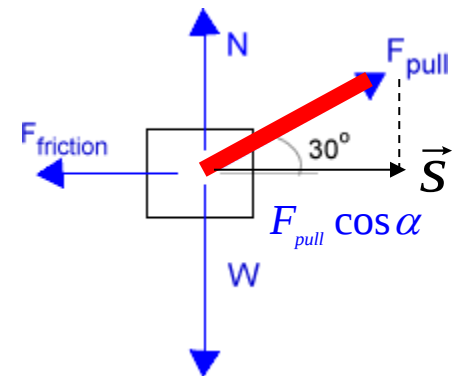
See, risti liikumise suunaga jõud, tööd ei tee!

- Kui keha **liigub** jõu **toimel** teise kohta, siis öeldakse, et see kehale rakendatud jõud on teinud tööd
- **Ilma liikumiseta pole tööd!**
- Mehaanilise töö hulk (st ülekantud energia) arvutatakse jõu ja selle **jõu mõjumise suunas** läbitud teepikkuse korrutisena
- Energia/töö on skalaar

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F(s \cos \alpha)$$

$$W = 0, \text{ kui } \alpha = 90 \text{ kraadi}$$

$$W = F \cdot s \cdot \cos 30^\circ$$

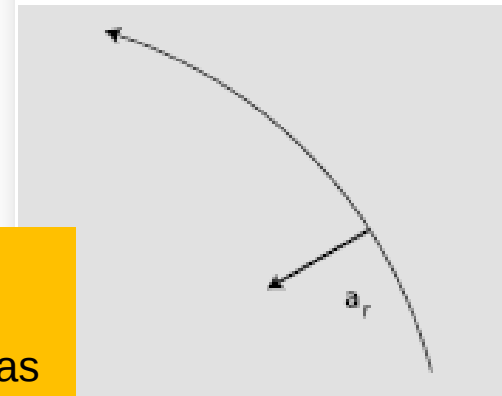
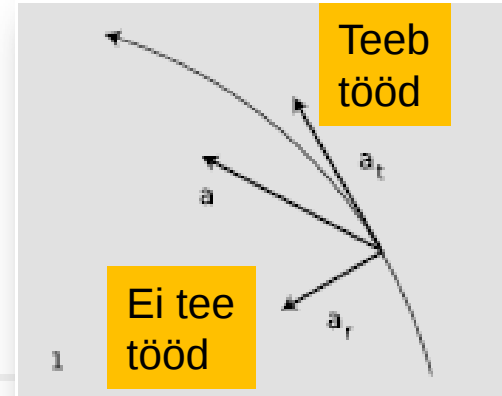
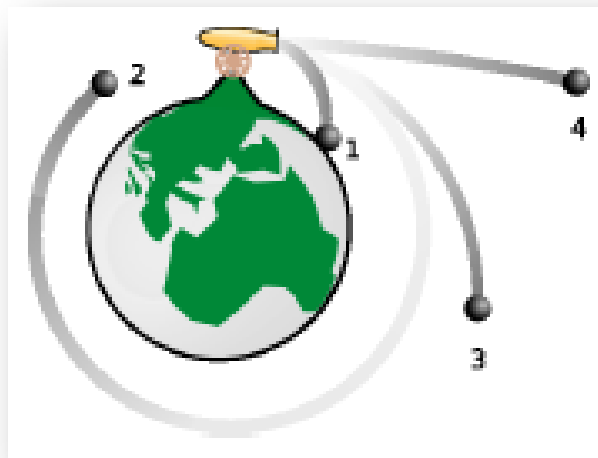


Keha liigub selles suunas

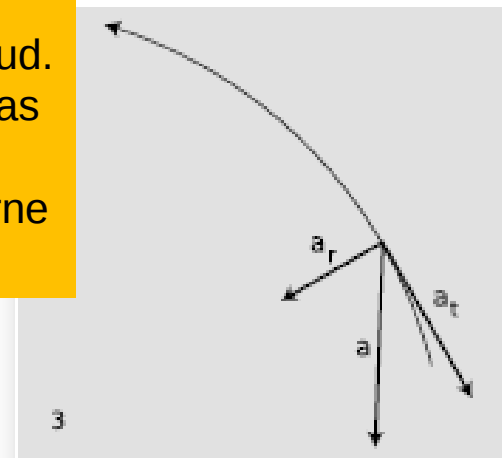
- NB! Nihkega ristiolev jõu komponent tööd ei tee ega energiat üle ei kann
- Liikumine toimub piki liikumistrajektoori puutujat

Nihkega ristiolev jõud tööd ei tee

- Nt ühtlasel ringjoonelisel liikumisel liikumise suunaga ristiolev (tsentripetaalne e raadiuse suunaline) jõud tööd ei tee



Näidake joonisel, kus suunas mõjuvad kehale jõud. Mis suunas mõjub summaarne jõud?



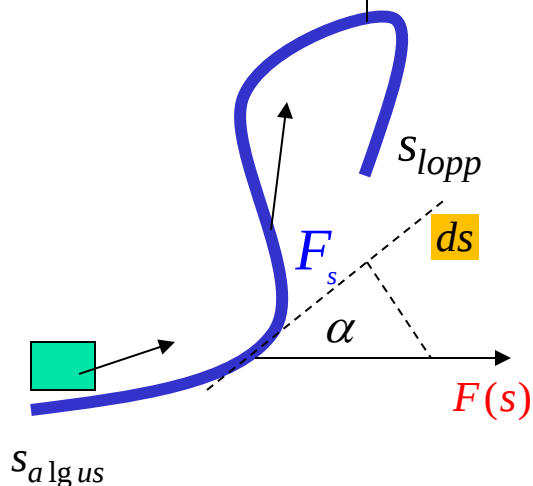
k / 1. Moving in a circle while speeding up. 2. Uniform circular motion. 3. Slowing down.

Töö (ruumis) muutuvas jõuväljas

- Skalaarkorrutise **kommutativsusest** (operantide järjekord ei mõjuta tehte tulemust) tuleneb:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = \vec{s} \cdot \vec{F} = F s_F = s F_s$$

- Kui jõud F muutub sõltuvalt asukohast trajektooriga s , siis tuleb elementaartööd $dA = F_s ds$ piki trajektoori lühikesi vahemikke $ds = dx + dy + dz$ kokku liita



$$W = \int_{s_{algus}}^{s_{lopp}} F(s) \cos \alpha(s) ds = \int_{s_{algus}}^{s_{lopp}} F_s(s) ds$$
$$W = \int_{Algus}^{Lopp} [F_x(x)dx + F_y(y)dy + F_z(z)dz]$$

ds on igas trajektoori punktis trajektoori puutuja suunaline nihe

$$F_s(s) = F(s) \cos \alpha(s)$$

on jõu projektsioon nihke suunale

Näide: Töö gravitatsioonilises potentsiaalses väljas

$$\text{Töö: } W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

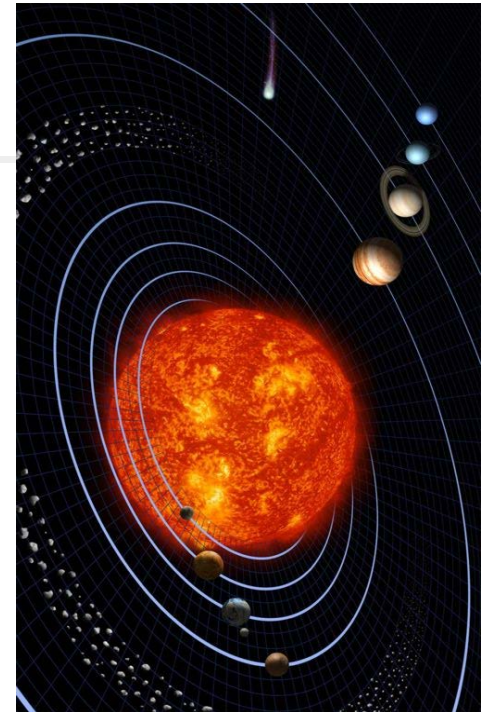
Oluline on tähele panna, et kehade vahel mõjuv gravitatsioonijõud sõltub kehade vahelisest kaugusest

$$F(r) = -ma_g(r) = -m \left(G \frac{M}{r^2} \right)$$

- Gravitatsiooniline tõmbejõud väheneb kehade vahelise kauguse suurenedes (siit -)
- Elementaartöö, mida tuleb teha ehk kulutada (kulutud töö loeme negatiivseks!) selleks, et gravitatsiooniväljas suurendada kehade vahelist kaugust dr (muutus +) võrra

$$dW_G = -F dr = -\left(-G \frac{mM}{r^2}\right) dr = G \frac{mM}{r^2} dr$$

$$W_G = GmM \int_{r_{\text{algus}}}^{r_{\text{lõpp}}} \frac{dr}{r^2} = GmM \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_l} \right) \propto \frac{1}{r}$$



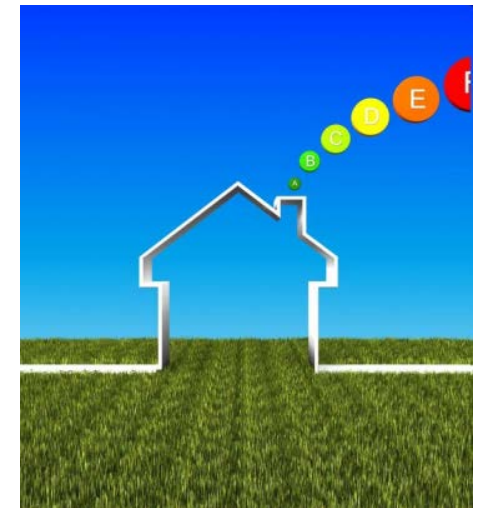
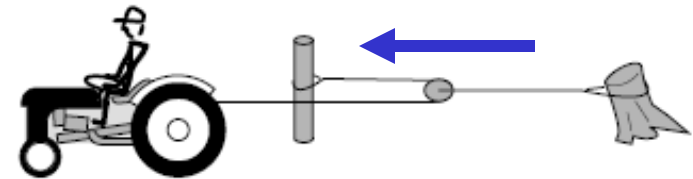
(Soojus)kadudeta energia ülekanne pole olemas

$$Töö: W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$
$$Energia \geq Töö$$

- Kui jõusuunalist liikumist pole, on tehtud töö 0.

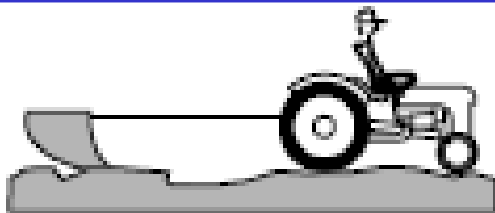
Kuhu kadus traktori kütuse põlemisel saadud energia?

- Töö puhul peetakse silmas „asja ette“ läinud energiakulu.
- Energia puhul aga arvestatakse ka nõ „vileks kulunud energiat“, mis lõppkokkuvõttes hajub soojusena
 - nt elektri puhul maksab tarbija kinni ka liinikaod – „tasuta lõunaid ei ole“

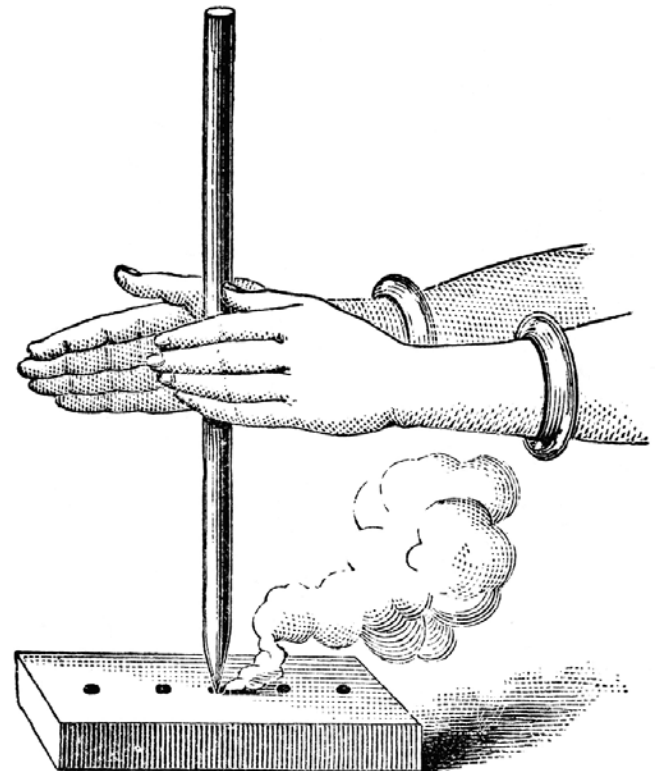


Hõõrdumine (*friction*) põhjustab alati energiakadu (*dissipation*)

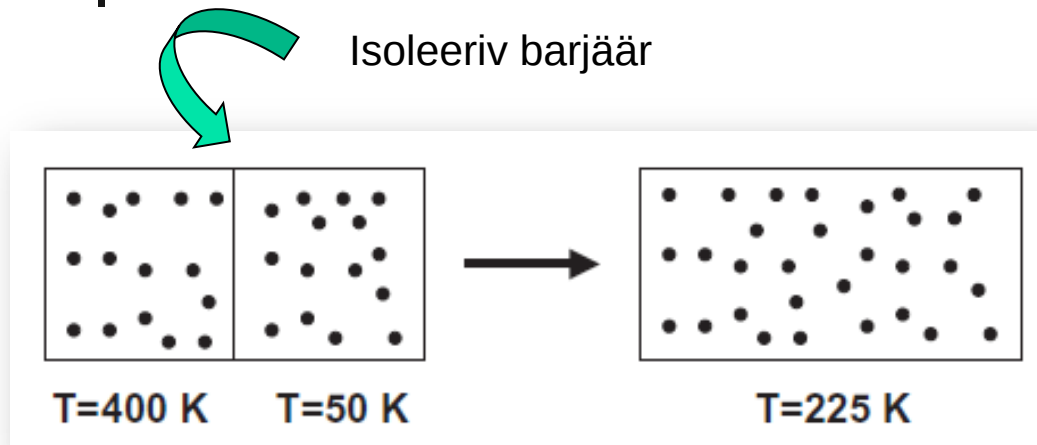
- mis lõppkokkuvõttes avaldub soojusena



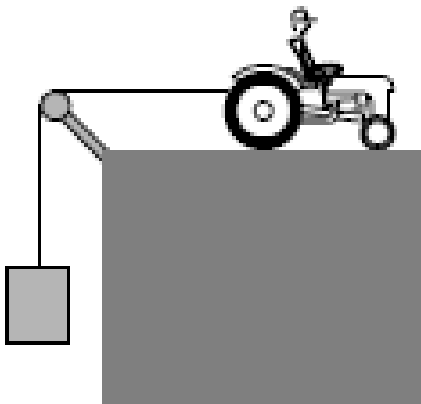
d / The tractor pulls a plow. Energy is expended in frictional heating of the plow and the dirt, and in breaking dirt clods and lifting dirt up to the sides of the furrow.



Töö ja soojuse molekulaarne olemus

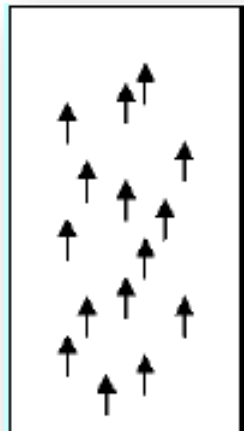


Soojuse vormis toimuv energia ülekanne (tavakeeles: soojusülekanne).
Soojusülekandel kehade makroskoopiline liikumine puudub.
Soojus ei ole substantis.
Soojusena ülekanduva energia hulk on arvutatav kui:
 $Q=RT$

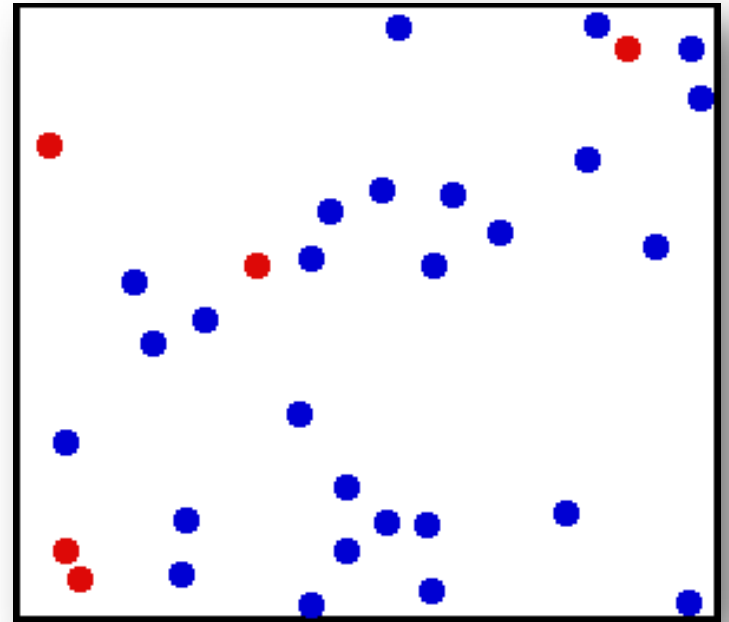


Energia ülekanne töö vormis on jälgitav kogu keha asendi muutumise kaudu
Osakesed liiguvad korreleeritult samas suunas
Tööna ülekanduva energia hulka gaasis arvutame kui:

$$W=pdV$$



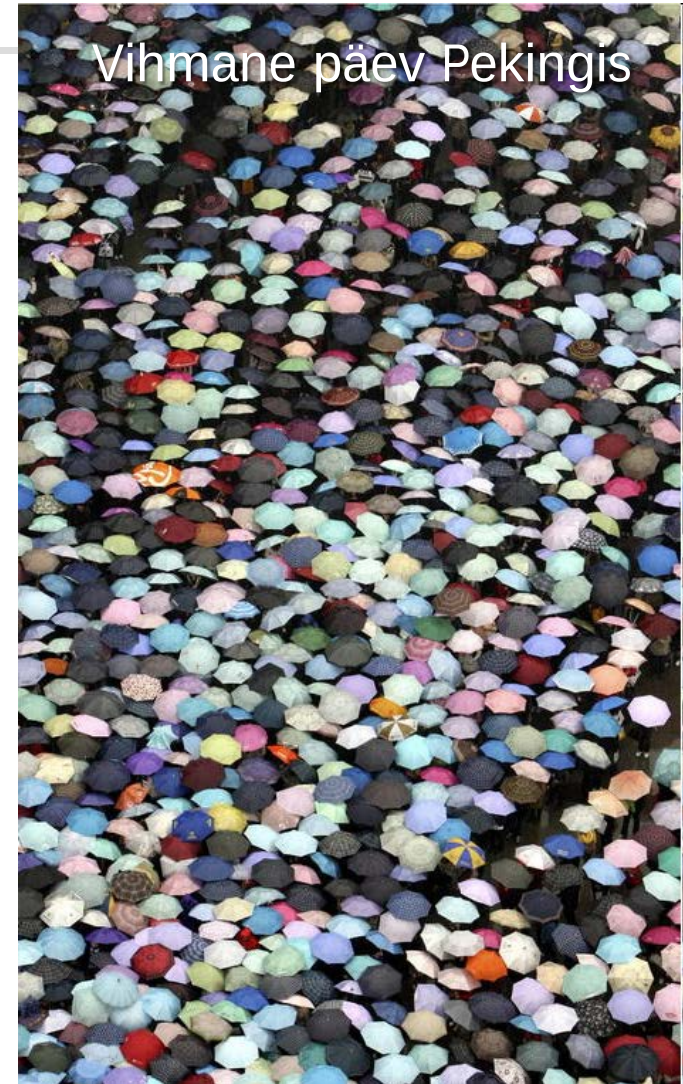
Töö (koherentses) ja soojuse (kaootilises) vormis energiaülekanne



Koherentne ja kaootiline liikumine



Tartu maraton.
foto: Margus Ansu/Postimees



Vihmane päev Pekingis

Nii energiat kui tööd mõõdetakse džaulides (J)

- Džaul on töö, mida teeb jõud 1 N 1m pikkusel teel: $[J] = [N] \cdot [m]$

$$[J] = [mas] = kg \frac{m}{s^2} m = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$$

- 1 J on ligilähedaselt ekvivalentne tööga, mida peab tegema 100 g õuna tõstmiseks maast 1 m kõrgusele
 - $0.1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} \sim 1 \text{ J}$
- **Kineetilise energia ekvivalent:**
2 kg massiga kuul, mis liigub kiirusega 1 m/s
- **Bioloogiline (ligilähedane) vaste:**
Igale südame kokkutõmbele kulub $\sim 1 \text{ J}$ energiat; Sellele vastav võimsus $\sim 1 \text{ W}$ (1 kokkutõmme/s)

Unit of Energy	Symbol	Equivalent amount of joules
Kilojoule	kJ	1000 J (= 10^3 J)
Megajoule	MJ	1,000,000 J (= 10^6 J)
Kilowatt-hour	kWh	3,600,000 J (= $3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$)
Ton of oil equivalent	toe	$41.87 \cdot 10^9 \text{ J}$
Calorie	cal	4.190 J
Kilocalorie	kcal	4190 J

Kasulik sait:

Energy unit converter:

<http://www.colby.edu/chemistry/PChem/Hartree.html>

Kas töö (st ühelt kehalt teisele jõu mõjumise suunas üle kantud energia) sõltub sellest, kuidas õun üles tõsteti? Aga tegelikult kulutatud energia?

Inimese päevase energiavajaduse rahuldaks üks kilo põlevkivi. Kui see vaid seeduks.
Allikas: Eesti Energia, Global Carbon Project

Kui palju energiat me vajame?

Meie igapäevane energiakulu

(J. Wrigglesworth, Energy and Life, Taylor & Francis, 1997)

Tegevus	Kestus tundides	Energiakulu (kJ)
Lamamine	9	2700
Istumine	10	3540
Seismine	2,5	1200
Käimine	2,5	2010
KOKKU	24	9450

- Energiatarve aastas inimese kohta on
 $3.5 \cdot 10^9$ J
- Võrdle $100 \cdot 10^9$ J/a koguenergiakuluga arenenud maades: >25x enam

Makroökonomiline järeldus:
Kaugeltki mitte kogu toodetud energia ei kulu toiduks!

Ööpäevas on $3600 \times 24 = 86400$ s
 9450000 J: 86400 s ~ 109 W

Müügimeeste reklaamitrikk

- Kindlustab teile vajaliku energia kogu päevaks!
- Suhkruvaba!
- Ainult 8 kalorit!
 - Kas see on võimalik?



Mitu J on 8 cal?

Toidu energiasisaldus

Meie energiatarve: ~10000 kJ/päev
=10 MJ/p

Food contains a lot of energy: these three peppers in total contain about 300 kilojoules (72 kcal).



1kJ~100 kg tõsta 1 m kõrgusele
300 kJ ~10 tonnine raskus tõsta 3 m kõrgusele

Type of food	Portion size	Weight (gr)	Energy content (kJ)
Butter / margarine	1 Tbsp.	14	419
Peanut butter	1 Tbsp.	16	398
Peanuts	1 Cup	145	3520
Milk chocolate	1 Piece	30	629
Potato chips	10 Chips	20	440
Chocolate cake	1 Slice	100	1827
Cheese	1 Piece	17	293
Pork chop	1 Piece	87	1152
Apple pie	1 Piece	158	1697
Hamburger	1 Serve	98	1027
Bread, plain	1 Slice	28	293
Ice Cream	1 Cup	148	1467
Chicken, Roasted	1 Breast	86	587
Boiled egg	1 Egg	50	314
Rice, plain cooked	1 Cup	205	943
Banana	1 Banana	114	440
Cow's milk (whole)	1 Cup	244	629
Yoghurt (naturel)	1 Cup	227	587
Cola	1 Can	369	670
Apple	1 Apple	138	335
Carrot	1 Carrot	72	126
Orange	1 Orange	131	251
Watermelon	1 Slice	160	210
Cucumber	6 Slices	28	21

Kui mul oleks 1 kJ

$10^{15} \text{ J} = 1 \text{ PJ (petaJ)}$
 $10^{18} \text{ J} = 1 \text{ EJ (eksaaJ)}$
 $1 \text{ W} = 1 \text{ J} / 1 \text{ s}$
 $1 \text{ TW} = 31,5 \text{ EJ/a}$

■ Langeva õuna mõttes

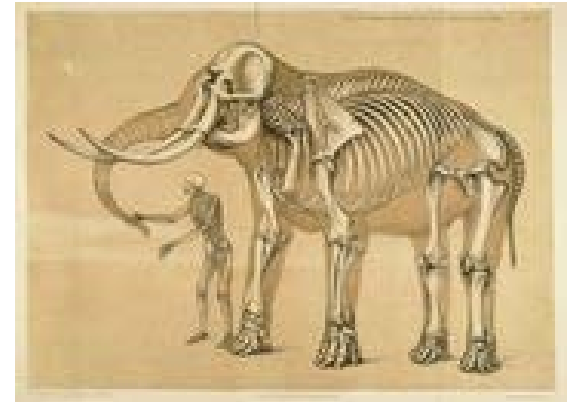
- Sikutaks 100 kg 1 m kõrgusele
- Tõstaks elevandi (3.3 t) 3 cm kõrgusele
- Aitaks 70 kg meest tõusta 8 trepiastet

■ Elektripirni mõttes

- Laseks 100 W pirnil põleda 10 s

■ Vee keetmise mõttes

- Ajaks keema $\frac{1}{2}$ teelusikatäit vett (ainult!)
 - See viitab vee (üli)suurele soojusmahtuvusele



Töö ja võimsus



- Võimsus on füüsikaline suurus, mida mõõdetakse ajaühikus tehtud töö (kulutatud energia) hulgaga
 - Teiste sõnadega, võimsus on energia tootmise, kulutamise ja/või akumulereerimise kiirus

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d(\vec{F} \cdot \vec{s})}{dt} = \frac{d(F \cdot \cos \alpha_s \cdot s)}{dt}$$
$$= F_s \frac{ds}{dt} = F_s v = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad (\text{kui } F \neq F(t))$$

- Võimsuse ühik on Watt [W] = [J]/[s] (dzaul sekundis)

Kilovatt-tund on energia mõõtühik

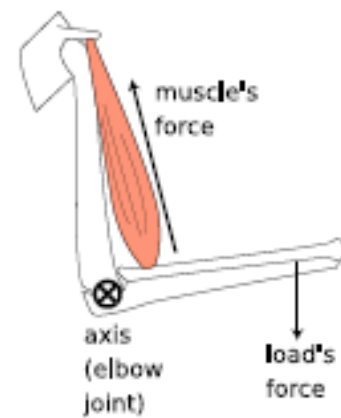
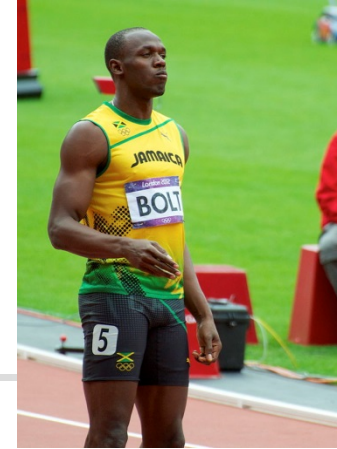
- Elektrienergia hulga mõõtmiseks kasutatakse ühikut kilovatt-tund (kWh)
- See on töö, mida teeb võimsus 1 kW ühe tunni e 3600 s jooksul.
$$\text{Üks kWh} = 1000 \text{ J s}^{-1} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3600 \text{ kJ} = 3.6 \text{ MJ}$$
- Vrd inimese päevase energiatarbega ~10 MJ ehk ~3 kWh



In some cases, a clock (of 5 W) uses more energy per month than an electrical toaster (of 1400 W). This is caused by the fact that the clock is in use during the whole month, while the toaster is only used for short periods of time.

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Võimsus



- Summaarne energia tarbimise kiirus on üks makromajanduslikke inimeste **heaolu taseme näitajaid**
 - USAs nt on see ~10 kW/in
 - Vaesemates arengumaades kuni 100 korda väiksem ehk ~100 W/in - **parajasti piisav vaid elutegevuse säilitamiseks**

Mis piirab inimese töövõimet?

- Nii energia kulutamise/tootmise kiirus e **võimsus** (~100 W), kui ka maksimaalselt arendatav **jõud**
 - Viimane on määratud luustiku, kõõluste ja lihaste mehaaniliste omadustega

$$F = k\Delta l$$

Võimsuse suurusjärgud



Eestist pärit asjad:
Druzba mootor-saag



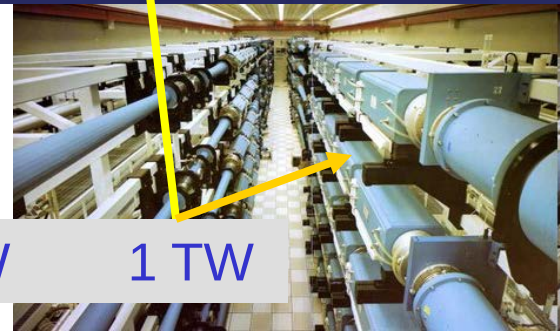
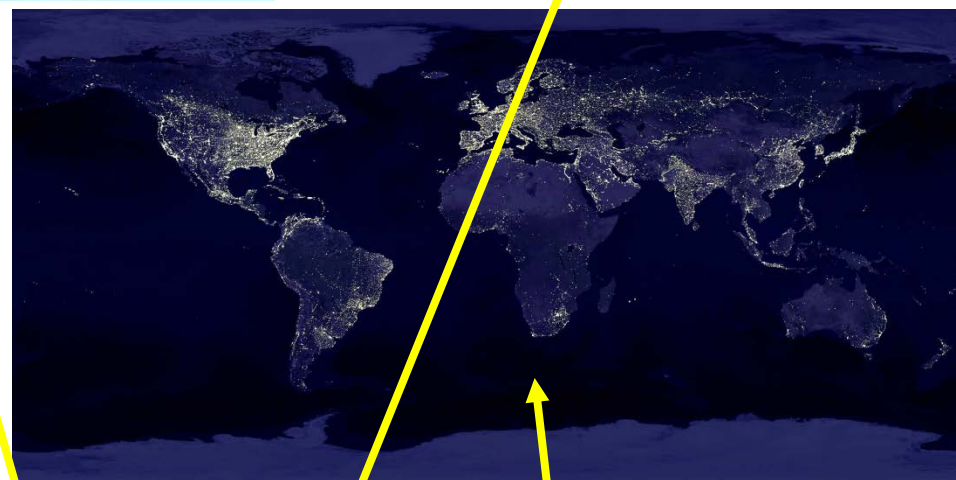
NATO pommitaja B-52



Narva Elektrijaamad



Aju: 25 W



Power

1 W

100 W

1 kW

1 MW

1 GW

1 TW

Lõhkeaine peamine efekt seisneb suures võimsuses, mitte suures energias

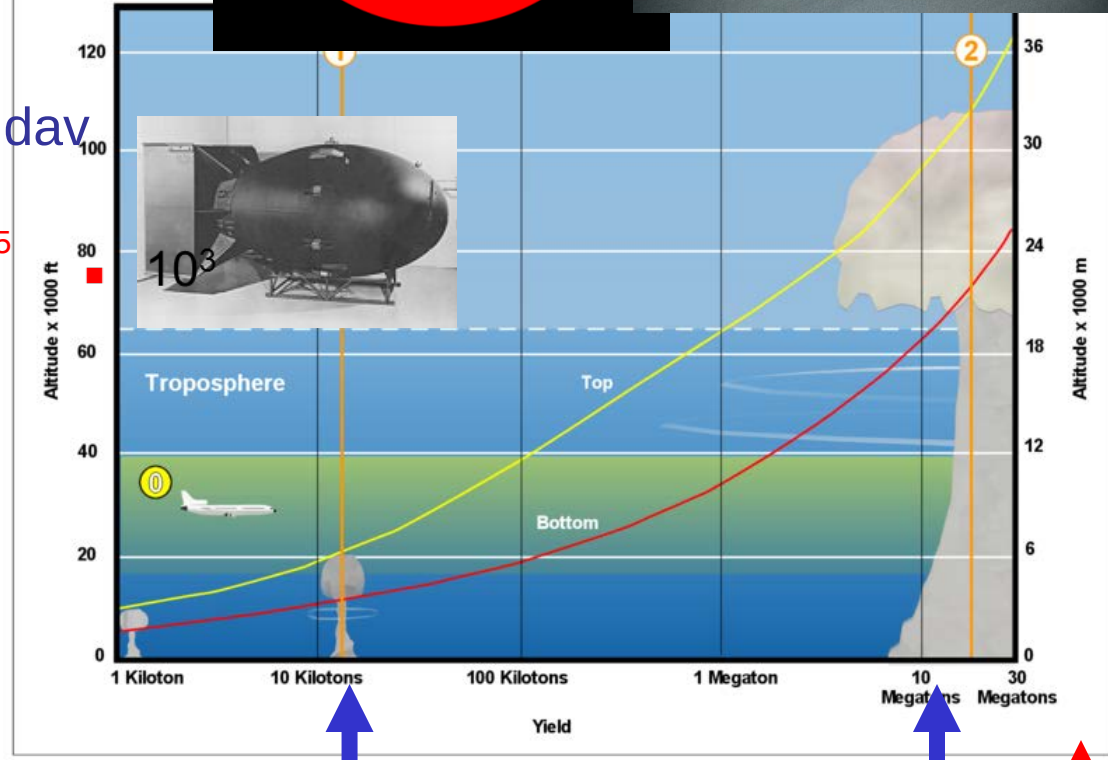
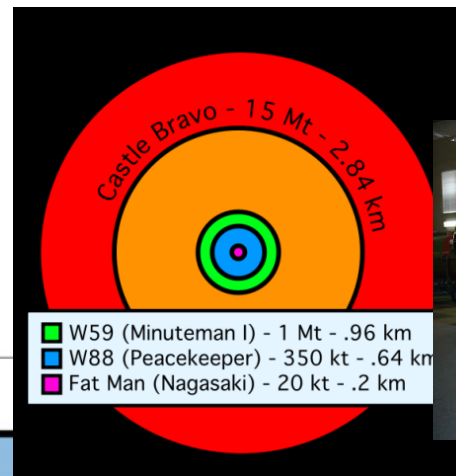
- 1 g trinitrotolueen (TNT) ehk trotüüli sisaldab vaid ~ 4184 J, aga tema detonatsioonikiirus on ~ 7000 m/s
 - 1 g bensiini ~ 40000 J (kontrolli!)
- Detonatsioonikiiruse järgi eristatakse nn *high* (militaarkasutus) ja *low* (tsiviilkasutus) *explosives*
 - Rahvakeeles dünamiit on keemikute keeles nitroglütseriin



$$M_n = \frac{2}{3} \log_{10} \frac{m_{\text{TNT}}}{\text{kg}} = \frac{2}{3} \log_{10} \frac{m_{\text{TNT}}}{\text{kt}} + 4 = \frac{2}{3} \log_{10} \frac{m_{\text{TNT}}}{\text{Mt}} + 6$$

TNT ekvivalent

- 1g TNT (trotüül) = $4.184 \cdot 10^3$ J
- 1 Mt TNT ~ $4.184 \cdot 10^{15}$ J
- 1 Mt TNT plahvatus on võrreldav magnituud 6 maavärinaga
 - 1 magnituud erinevust = $10^{1.5}$ ehk ~31.6 x
 - 2 magnituudi = $(31.6)^2 = 10^3$
 - 3 magnituudi = $3.2 \cdot 10^4$
- Suurimad maavärinad:
 - 9.5 - Tsiili 1960
 - 9.3 - Indoneesia 2004
 - 9.3 - Kamchatka 1737
 - 9.1 Jaapan 2011
- Nendes vabanenud energiad on võrreldavad inimkonna aastase energiakuluga: $\sim 5 \cdot 10^{20}$ J



Hiroshimale heidetud
Little Boy - 15 Kt
Nagasaki – *Fat Man* 20 Kt

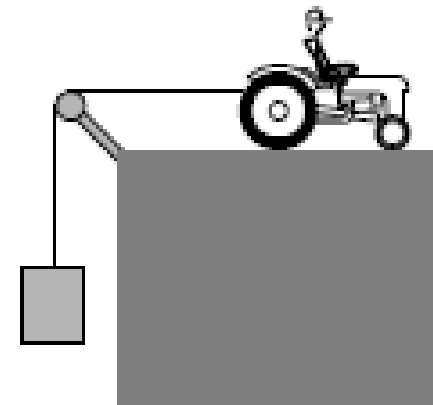
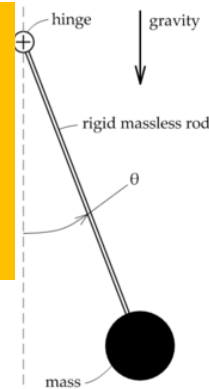
1908. a Tunguusi
meteoriidiplahvatus - 10-
30 Mt (Magn 7)

1961. a NSVLs lõhatud vesinikupomm
Tzar Bomba - 50-100 Mt (Magn 7-8)

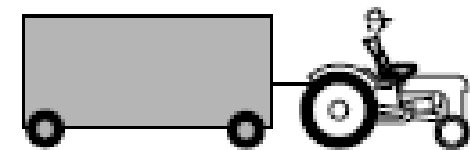
Kaks tüüpi mehaanilist energiat

- Jõuväljas asuva keha potentsiaalne energia, mis sõltub keha asukohast
- Liikuva keha kineetiline energia (kr *kinesis* tähistab liikumist), mis sõltub keha liikumise kiirusest
- NB! Energia jäävuse seadus käib kogu energia, mitte eraldi potentsiaalse või kineetilise energia komponendi kohta

Tasakaaluasendi suhtes võnkuva keha energia on üle perioodi keskmistatuna täpselt pool aega kin ja teine pool aega pot energia vormis

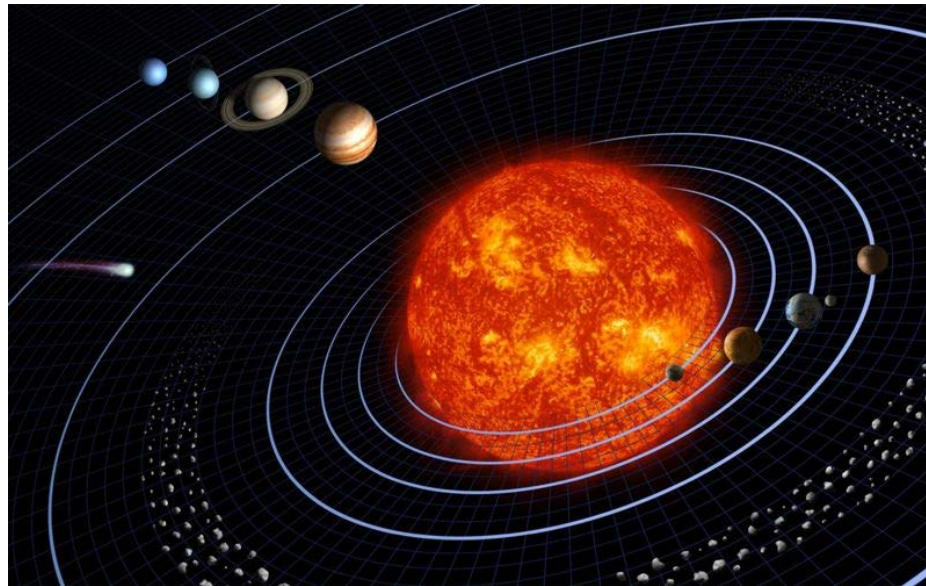
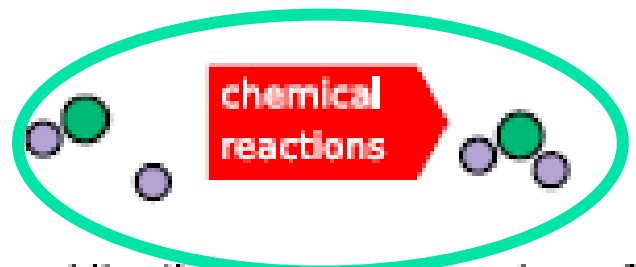
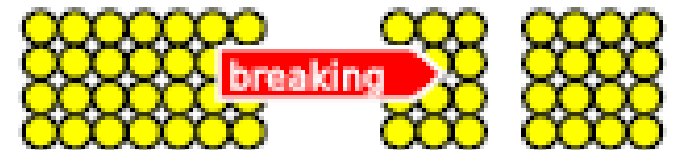
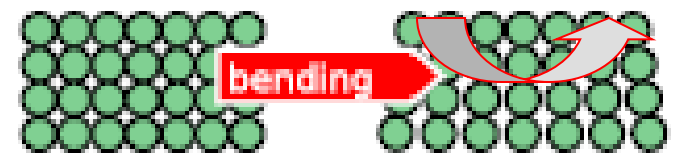
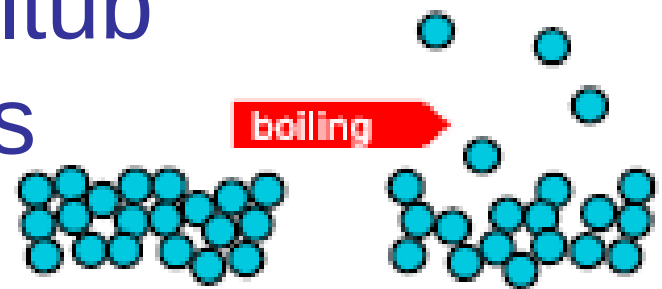


b / The tractor raises the weight over the pulley, increasing its gravitational potential energy.



c / The tractor accelerates the trailer, increasing its kinetic energy.

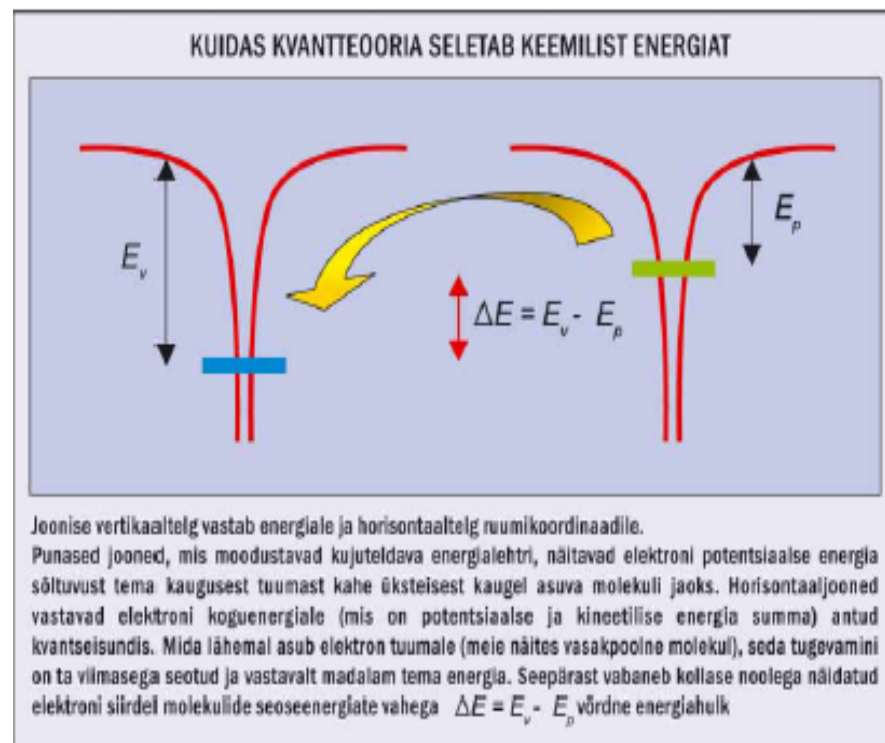
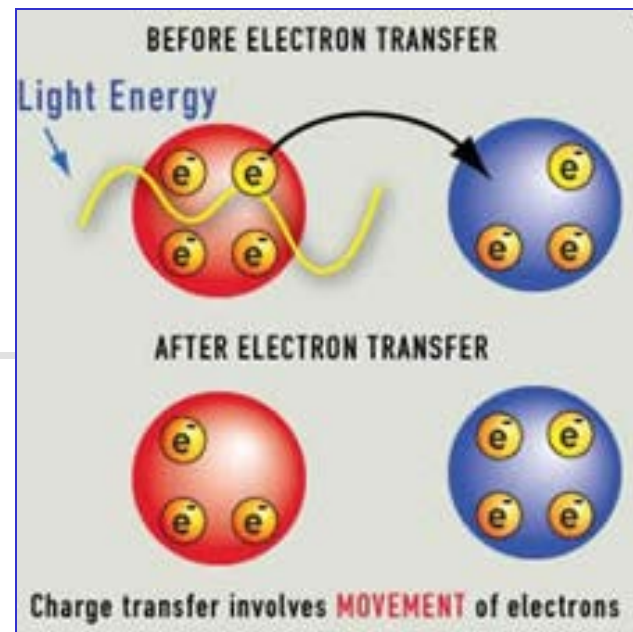
Potentsiaalne energia sõltub kehade asukohast ruumis



e / All these energy transformations turn out at the atomic level to be changes in potential energy resulting from changes in the distances between atoms.

Keemiline energia on potentsiaalne energia

- Keemiline energia on potentsiaalne energia, mis on seotud aatomite ja molekulide struktuursete ümberkorraldustega
- Keskmiselt tuumale lähemal asuvad elektron(id) omavad madalamat energiat (on stabiilsemad)



Liikuva keha kineetiline energia



- Kineetilise energia valemi saamiseks arvutame, kui palju tuleb teha tööd, et ühtlaselt kiirendada (st $F = \text{const}$) keha massiga m paigalseisust kiiruseni v
 - Seejuures kiirus tee peal pidevalt muutub, kiirendus mitte
- Sama palju energiat saame tagasi kui keha peatada

$$\begin{aligned}
 dW &= Fds = mads \\
 &= m \frac{dv}{dt} v dt = mv dv \\
 W &= \int dW = m \int v dv \\
 W &= E_k = \frac{mv^2}{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{at^2}{2}; t = \sqrt{\frac{2s}{a}} \\
 v &= at = \sqrt{2as} \\
 s &= \frac{v^2}{2a}
 \end{aligned}$$



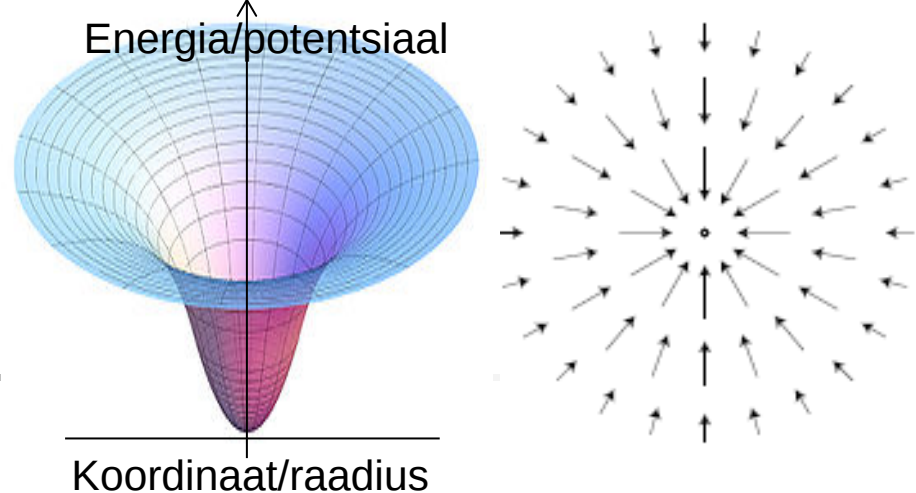
Võrdleme kineetilist energiat ja impulssi

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$
$$p = mv$$
$$E_k = \frac{p^2}{2m}$$

kinetic energy ...	momentum ...
is a scalar.	is a vector
is not changed by a force perpendicular to the motion, which changes only the direction of the velocity vector.	is changed by any force, since a change in either the magnitude or the direction of the velocity vector will result in a change in the momentum vector.
is always positive, and cannot cancel out.	cancels with momentum in the opposite direction.
can be traded for other forms of energy that do not involve motion. KE is not a conserved quantity by itself.	is always conserved in a closed system.
is quadrupled if the velocity is doubled.	is doubled if the velocity is doubled.

Universumit täidavad väljad

- Kehad mõjutavad üksteist väljade kaudu
- Universumit täidavad jõu- ja energiaväljad (Faraday, Maxwell)
- Kehade kirjeldamise asemel võime iseloomustada nende poolt tekitatud väljasid
- Väljad võivad olla nii skalaarsed kui ka vektoriaalsed

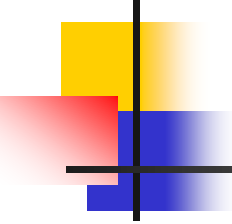


- Jõuväljad on vektorväljad
- Energiaväljad on skalaarsed

Potentsiaalse energia väli sõltub vaid keha omavahelisest asendist ruumis

- Energia- ja jõuväljad on üksteisega üks-üheselt seotud

$$\vec{F} = -\text{grad}E$$



Materia kaks vormi

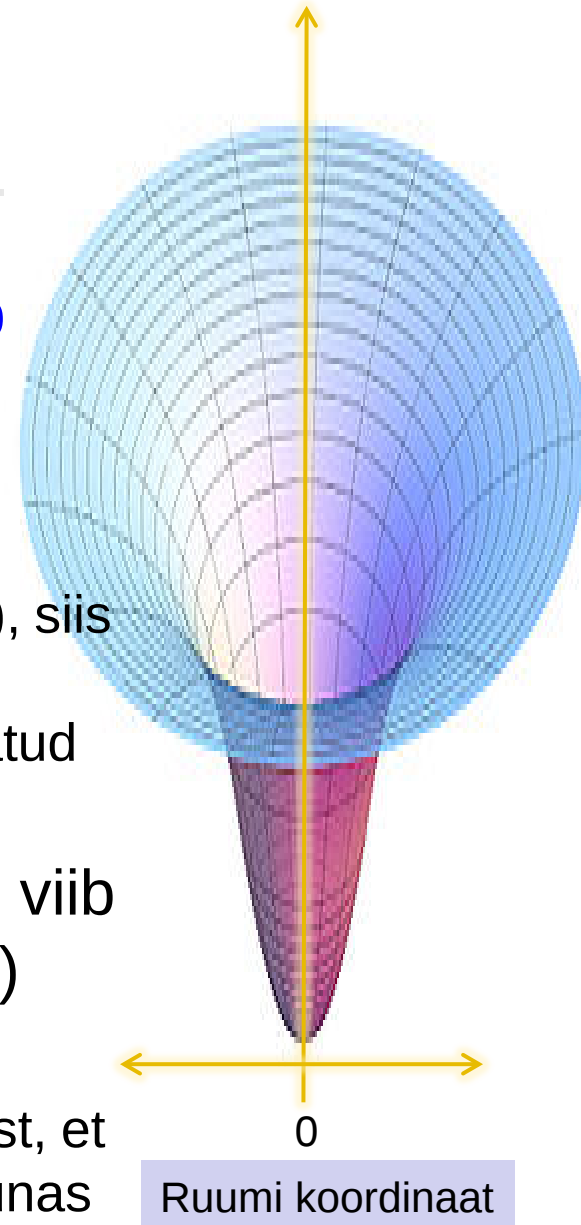
Füüsika on loodusteadus, mille eesmärgiks on füüsikalise (e materiaalse) maailma üldiste seaduspärasuste väljaselgitamine

- Einstein:

Matter is where the concentration of energy is great, field is where the concentration of energy is small

Väljaga seotud jõud

- Mõju (st kehale avalduv jõud) on seda suurem (tugevam), mida kiiremini muutub välja potentsiaal (potentsiaalne energia) antud ruumipunktis
 - Kui välja potentsiaal ruumis ei muutu (nt horisontaalse laua tasapind Maa raskusväljas), siis väljas asuvale kehale vastavas suunas jõud ei mõju (nii ei hakka horisontaalsele lauale asetatud kuulike laua tasapinnas iseenesest liikuma)
- Jõud on vektor ja mõjub alati suunas, mis viib potentsiaali ((vaba) potentsiaalse energia) vähenemisele
 - Nt kivi kukub Maa poole (ülevalt alla) sellepärast, et tema potentsiaalne energia väheneb selles suunas



Jõud kui energiavälja muutumise kiirus ruumis

- Energiaväljas mõjub kehale välja energia kahanemise suunaline jõud
- Jõud on seda suurem, mida kiiremini energia ruumis muutub; Ühik: J/m=N
- Keha liigub **spontaanselt energia vähenemise suunas** (siit miinusmärk valemite ees) valides kõikidest võimalikest suundadest suurima jõu mõju suuna (jõu kiireima muutumise suuna)

Üldiselt : $F = -\text{grad}E$

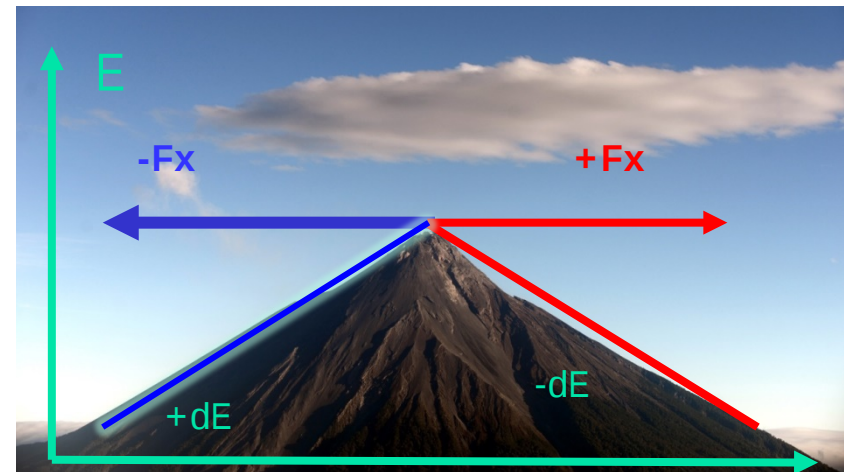
$$F_x = -\frac{dE_{\text{pot}}}{dx}$$

$$F_x = -\frac{dE_{\text{kin}}}{dx} = -\frac{d}{dx} \frac{m}{2} v^2(x)$$

$$= -mv \frac{dv}{dx} = -m \frac{dx}{dt} \frac{dv}{dx}$$

$$= -\frac{mdv}{dt} = -\frac{d(mv)}{dt} = -\frac{dp}{dt} = F_x$$

m.o.t.t.



X

Teame nüüd kolme jõu definitsiooni

- Kehale antud kiirenduse mõõt

$$F = ma$$

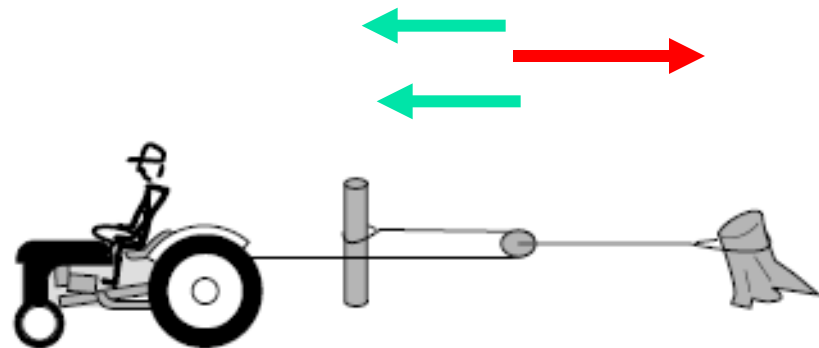
- Keha liikumishulga (impulsi) muutumise kiirus

$$F = -\frac{dp}{dt}$$

- Energiavälja muutumise kiirus ruumis (kõige üldisem)

$$F = -\text{grad}E$$

- Masinad suurendavad jõudu, kuid mitte energiat!



Kuidas keha aru saab,
et talle mõjub jõud?

Välja potentsiaal

- Energiavälja igat punkti iseloomustab tema **potentsiaal**
- Tööd, mida tehakse **ühikulise** massi (või elektriväljas ühikulise **positiivse** laengu) nihutamisel teise massi (laengu) väljas **lõpmatuses** antud välja punkti r , nimetatakse **selle välja punkti potentsiaals**
- Gravitatsiooni- (elektri-) välja potentsiaal muutub pöördvõrdeliselt kaugusega ($1/r$)
- Edaspidi räägime **keemilisest ja elektro-keemilisest potentsiaalist**. Sel puhul on tegemist tööga, mida tehakse ühikulise ainekoguse (nt 1 mooli) ümberpaigutamisel ühe kontsentratsiooniga ruumiosast teise kontsentratsiooniga ruumiosas

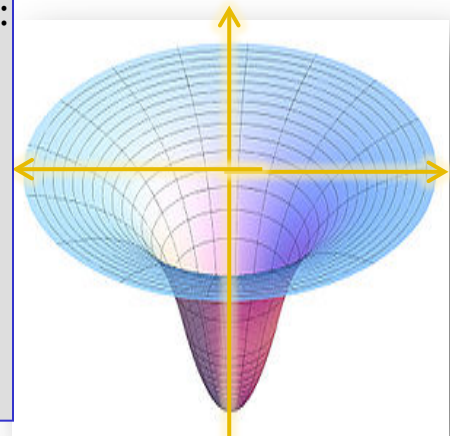
Gravitatsiooniline potentsiaal ja energia :

$$W = -GmM \frac{1}{r_{\text{lõpp}}} \quad \left(\frac{1}{r_{\infty}} = 0 \right)$$

Gravitatsioonivälja potentsiaal :

$$W / m = -GM \frac{1}{r_{\text{lõpp}}} \quad [J / kg]$$

– tähendab, et energia vabaneb



Maailma sügavaim lahtine kaevandus on Venemaale kuuluva Sahha (Jakuutia) Vabariigi edelaosas Mirnõi linna lähistel ja kannab nime „Mir“.
Selle karjääri sügavus on 525 m ja läbimõõt maapinnal ~1,2 km.

Gravitatsioonivälja potentsiaal vs elektrivälja potentsiaal

Gravitatsioonivälja potentsiaal:

$$W / m = -GM \frac{1}{r_{\text{lõpp}}} \quad [J / kg = N \cdot m / kg]$$

Maalähedases ruumis:

$$W / m = gh = 9.8h \quad [m^2 / s^2]$$

- Gravitatsioonivälja potentsiaali jaoks eraldi ühikut pole kehtestatud

Gravitatsioonivälja ruumis

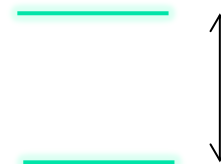


Grav pot erinevus: 1 J/kg
Ümberpaigutatav mass 1 kg
Kulutatud energia: ~9.8 J

- Elektrivälja potentsiaali (samuti selle vahet kahe välja punkti vahel) mõõdetakse voltides (V)

- $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$

Elektrivälja ruumis



1V
1C
1J



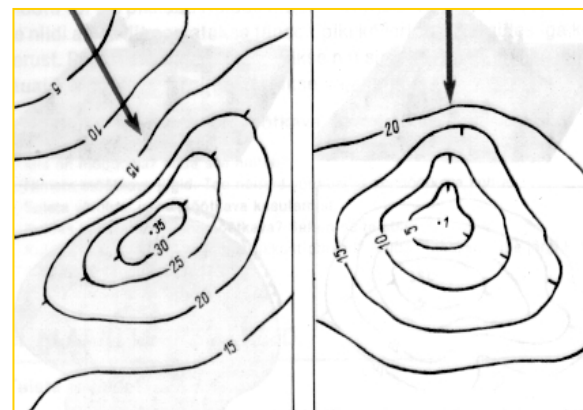
Potentsiaalsed väljad

- Energiast rääkides meid tavaliselt ei huvita absoluutne energia, vaid see kui palju energiat ühes või teises protsessis kulus või tekkis.
Meid huvitab energia muutus
- Gravitatsiooniväli (samuti elektriväli) on **potentsiaalsed väljad**, kus keha potentsiaalse energia muutus sõltub vaid keha alg-ja lõppasendist, mitte aga vahepealse liikumise trajektooriga
 - Seda sellepärast, et väljaga risti toimiv jõukomponent töö ei tee ehk samakõrgusjoonel toimuv liikumine energiat ei kuluta (ideaalis, arvestamata alati olemasolevat hõõrdumist!)
- Termodünaamikas nimetatakse suurusi, mis sõltuvad vaid süsteemi olekust ja mitte sellest, kuidas see olek saavutati, **olekufunktsioonideks**

Terrass-põllud Lõuna-Hiinas
märgivad samakõrgusjooni
Maa gravitatsiooniväljas

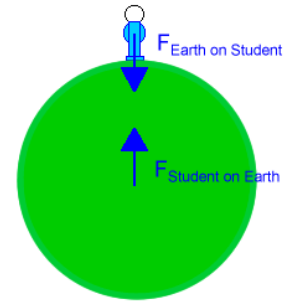


Terraced fields in China, where researchers are pushing crop yields close to their biophysical limits.

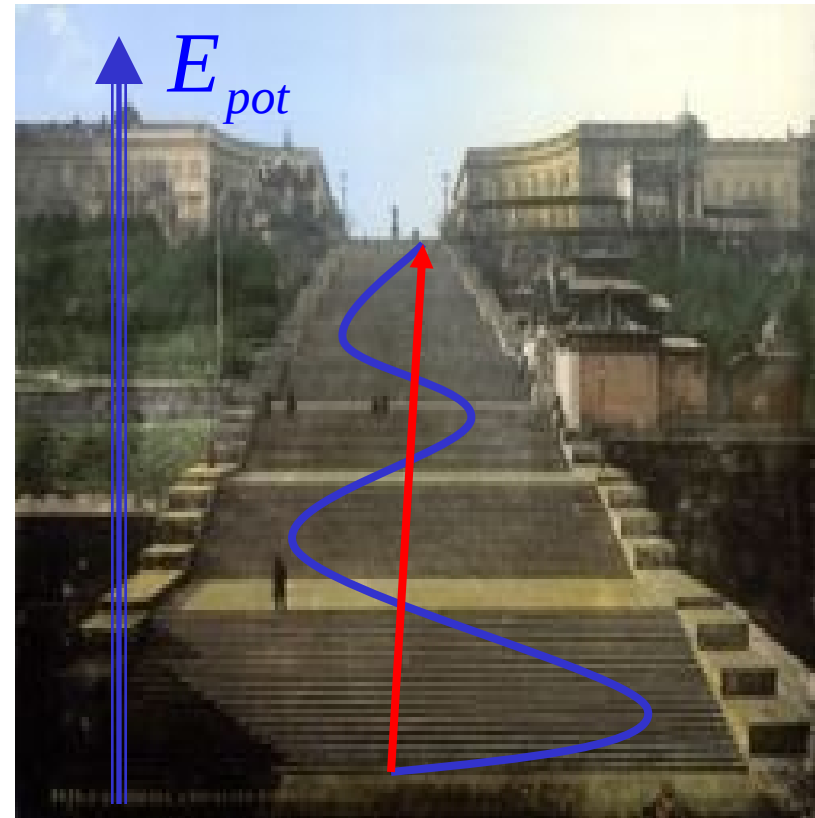


Samakõrgusjooned
kontuurkaardil
(Maa gravitatsiooniväljas)

Potentsiaalse energia nullpunkti valik



- Potentsiaalsetes väljades kulutatud energia sõltub vaid liikumise alg- ja lõpp-punktide **energiate vahest**
- Seepärast on ka energia mõõtmise algus- ehk nullpunkti **valik vaba**
- Valikul juhitudakse eelkõige mugavusest
- Koolifüüsikas võetakse gravitatsiooniga seotud arutlustel nullpunktiks Maa pind, mis mitte alati pole kõige otstarbekam
- Kui kehad asuvad üksteisest lõpmata kaugel, siis nad omavahel ei interakteeru.
Üldjuhul on just see olek mõistlik potentsiaalse energia 0-punktiga siduda



Väli trepi horisontaalsuunas ei muutu: $dE/dx = -F = 0$. Selles suunas liikudes järelikult energiat ei kulu, sest $F \times s = 0$.

Sisyphos kivi
mäkke
veeretamas

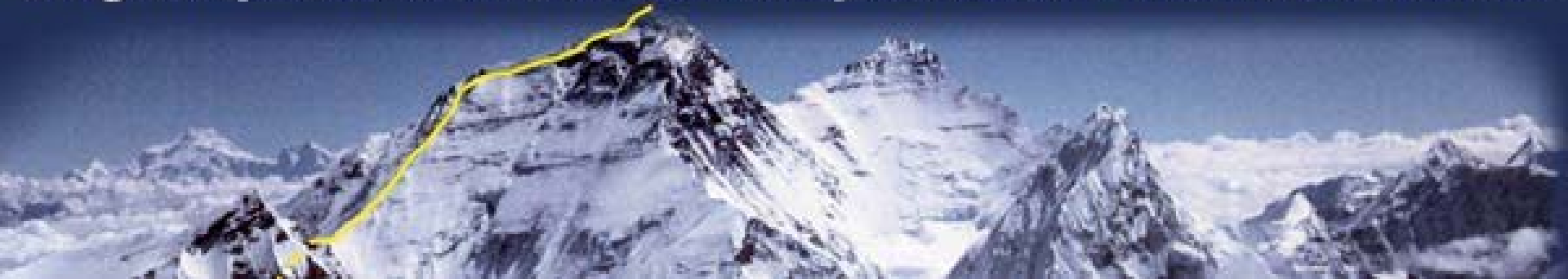


Potentsiaalsed väljad

- Mäe otsa tassitud kivi potentsiaalne energia ei sõltu sellest, millist rada kivi üles tarimiseks kasutati

- Kas mäe otsast orgu lastud kivi kiirus sõltub mäekülje kaldest, kui hõõrdumist võib mitte arvestada?

Mägiekspeditsioonide klubi ekspeditsioon Mount Everestile

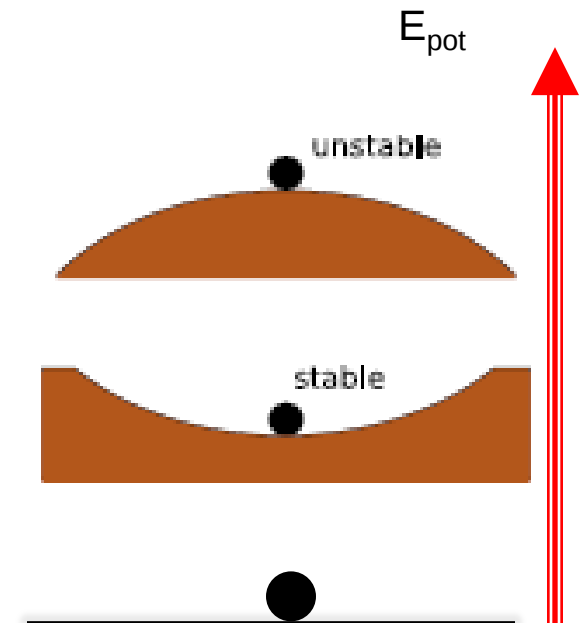


Tasakaal

- Keha tasakaalu määrab teda ümbritsevate energiaväljade potentsiaali kuju
- Sõltuvalt sellest, kuidas muutub keha raskuskese **nihkel tasakaaluasendist**, võib tasakaal olla kas
 - **Püsiv:** Raskuskese tõuseb, keha asub potentsiaali miinimumis
 - nt piljardipall võrgus
 - **Ebapüsiv:** Raskuskese langeb
 - nt tipule asetet pliiats või varvasseisus olev baleriin
 - **Ükskõikne:** Raskuskese ei muutu
 - nt kuulike horisontaalsel laual



y / The dancer's equilibrium is unstable. If she didn't constantly make tiny adjustments, she would tip over.



Potentsiaalse energia muutumine tasakaaluasendi lähedal jälgib alati parabooli



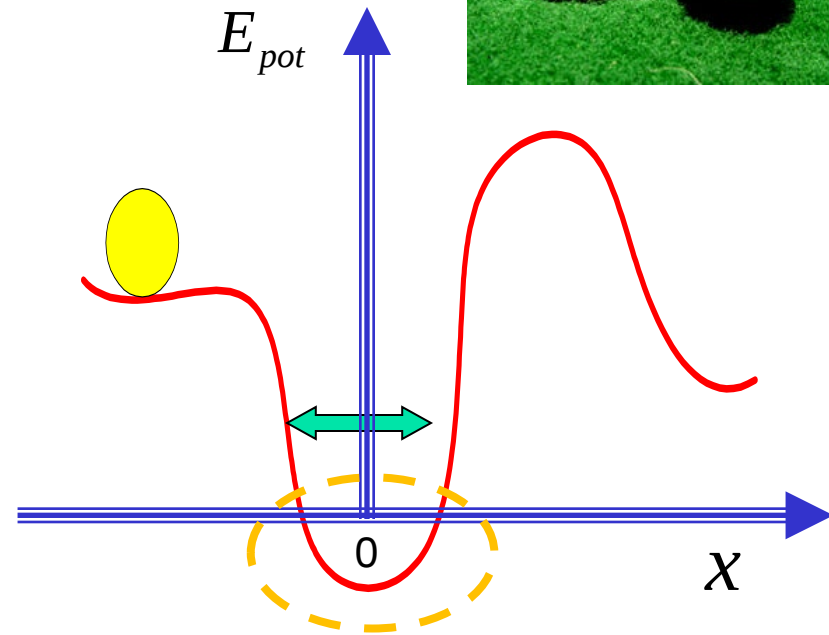
- Täiesti üldiselt: Arendame potentsiaalse energia funktsiooni Taylori ritta argumendi miinimumi väärtusel $x=0$, piirdudes teist järku liikmega:

$$E(0 + \Delta x) \approx E(0) + \frac{\Delta x}{1!} E'(0) + \frac{\Delta x^2}{2!} E''(0)$$

$E'(0) = 0$ minväärtusel alati! Miks?

$$E(x) \approx \frac{E''(0)}{2!} x^2 \text{ (ruutparabool)}$$

$E''(0)$ kirjeldab jõukonstanti



Tasakaalu kirjeldab potentsiaalse energia miinimum.

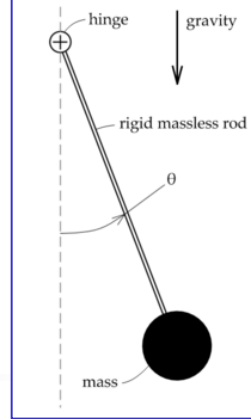
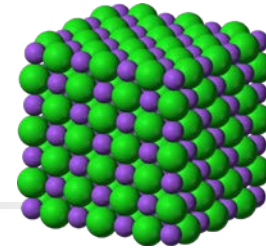
Miks on esimene tuletis tasakaaluasendis alati 0?

Mis märgiga on teine tuletis?

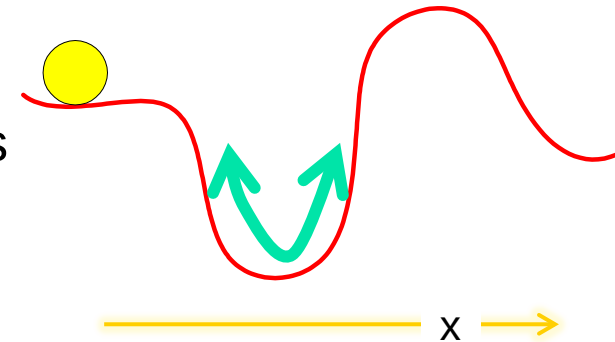
Mis märgiga on teine tuletis?

Väikesed kõrvalekalded tasakaaluasendist põhjustavad võnkumisi

- Võnkumised tekivad, kui keha nihutatakse välja **püsivast** tasakaaluasendist
- Õige on ka öelda, et **liikumisel** püsiva tasakaaluasendi läheduses on alati võnkuv iseloom
- Väikeste kõrvalekalletel tasakaaluasendist võib kehale mõjuvat jõudu lugeda proportsionaalseks nihke suurusega (**Hooke'i seadus**)
 - k on võrdelisustegur, mida nimetatakse **elastsuskoefitsiendiks** (ühik N/m)
- Tekkiv jõud kx püüab tasakaalu taastada, st ta mõjub tasakaaluasendi suunas (seda tähistab valemi ees olev - märk)
 - Hooke oli füüsik, Newtoni kaasaegne, kes tundis sügavat huvi eluslooduse vastu, **sõna** "rakk" "ristiisa"



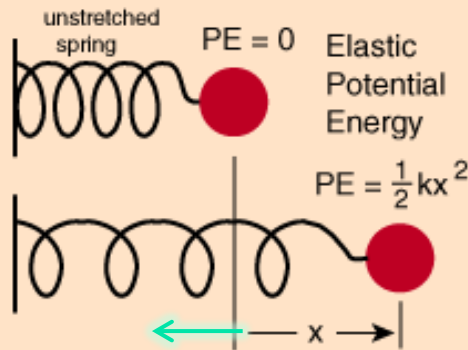
Näiteid: Pendel, aatomid kristallvõres, aga ka valgus jne



Hooke'i seadus

$$F = -kx$$

Keha (nt vedru) deformatsiooniga seotud potentsiaalne energia

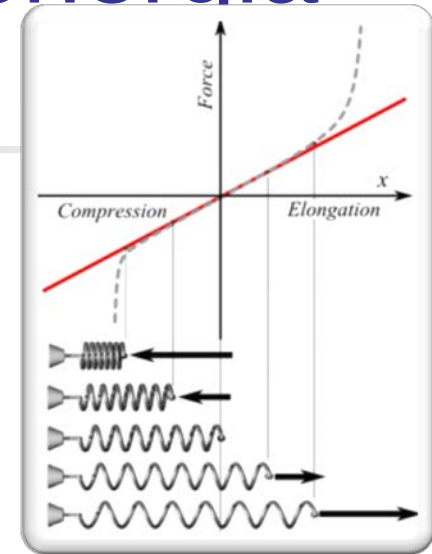


$$F(x) = -kx$$

kokkusurumine venitamine

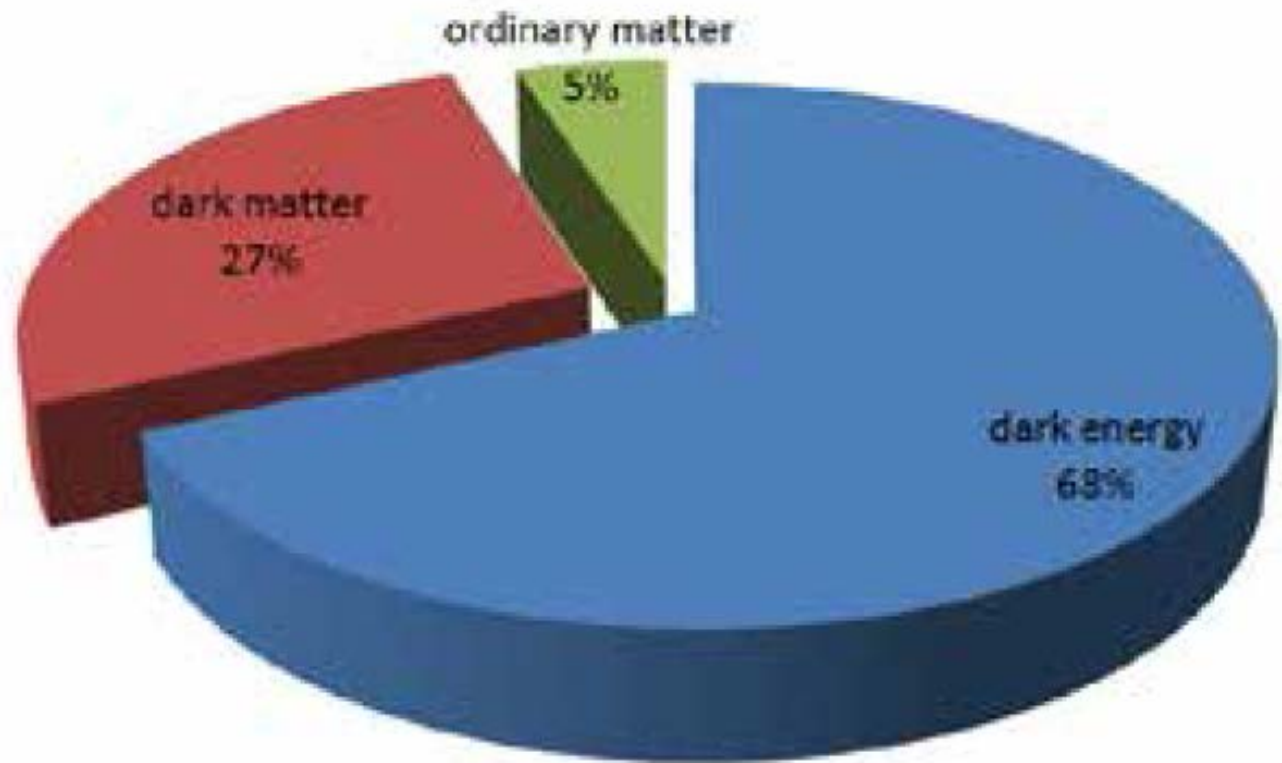
- Arvutame vedru kokkusurumisel või venitamisel tehtava töö.
 - NB! Üldjuhul jõud muutub kokkusurumisel/venitamisel

$$\begin{aligned} F(x) &= -kx && \text{Hooke'i seadus} \\ dW &= -F(x)dx = kx dx && \text{↻} \\ W &= \int dW = k \int x dx \\ W &= \frac{1}{2} kx^2 && k \text{ on elastsuskonstant} \end{aligned}$$



- Järeldus bioloogias: Kehade (aatomite ja molekulide, lihaste jne) elastsel deformatsioonil akumulereeritakse potentsiaalne energia, mis on proportsionaalne kokkusurumise-väljavenitamise (e nihke) amplituudi ruuduga
- NB! Kehtib vaid väikestel deformatsioonidel ds/s

Universumi energiast vaid väike osa on ainenä jälgitav: Materja jaotus Universumis



The mass-energy distribution of our universe.

Üldistatud energia mõiste

1948. a pakuti Einsteinile äsjaloodud Israeli presidendi kohta, kuid ta loobus sõnadega "Poliitika kestab mõne hetke, kuid iga võrrand kuulub igavikule"



- I Üldistus (Faraday & Maxwell): Väli ja aine mõlemad omavad energiat
- Igasugust objekti energiat tuleb seega käsitleda koos temaga seotud väljaga, kusjuures kehtib seos (energia jäävuse seaduse üldistus):

$$E(\text{aine}) + E(\text{väli}) = \text{const}$$

- Seos on eriti oluline mikromaailma protsesside mõistmiseks
- II Üldistus (Einstein): Mass ja energia on seotud ja üksteisest eristamatud

$$E = mc^2$$



- Tuuma mass on alati väiksem tema koostisse kuuluvate nukleonide (prootonid-neutronid) massist. Vahe on muundunud välja energiaks
- Just massi vahesse (mitte kogu tuuma massi) kätketud energia vabastamisel põhineb tuumaenergeetika
 - Järjekordselt ei räagi me kogu energiast

Massi jäävuse seadus ei ole universaalne

- Keemilistes reaktsioonides toimub ühe aine muundumine teiseks
- Ainete kogumass seejuures **tavaliselt** ei muutu
- Aga, nagu öeldud: Tuumade mass on **alati väiksem** tema koostisse kuuluvate nukleonide (prootonid-neutronid) massist
- Energia on kõikides protsessides (kvantmehaanilise lubatavuse piires) jääv

$$V = \text{const.}$$

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

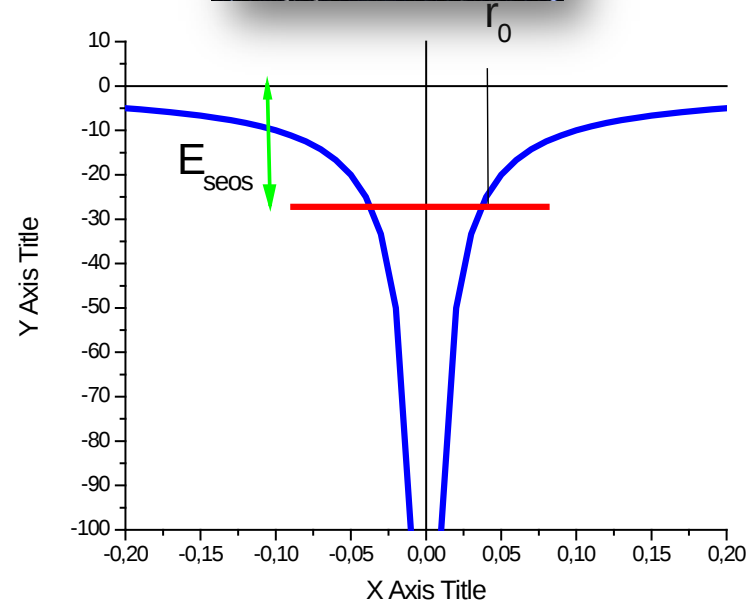
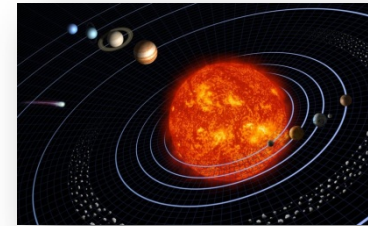


$$v = gt$$

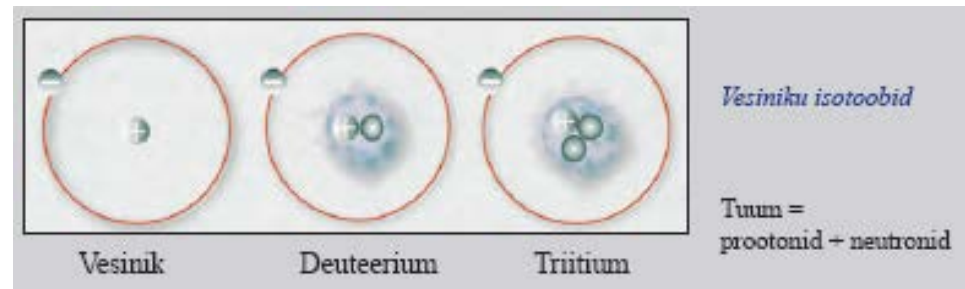
Miks muutub juga allapoole liikudes üha peenemaks?

Liitsüsteemide energia

- Liit- või seotud osakeste energia koosneb
 1. koostisosade **seisumassist** (alati+)
 2. nende liikumise **kineetilisest energiast** (+)
 3. liitosakesi siduva välja potentsiaalsest energiast ehk **seoseenergiast** (-)
- Seoseenergiaks konverteerub osa osakeste seisumassist, vähendades seisumassi võrreldes osakeste summaarse seisumassiga
- Selliselt üldistatud massi-energia jäävus kehtib nii mikro- kui ka makromaailmas



$$E = mc^2$$



- Energial on mass ja massiga on seotud energia
- $1 \text{ kg} \Rightarrow \sim 10^{17} \text{ J}$
- Inimkonna aastane energiatarbimine:
 $\sim 5 \cdot 10^{20} \text{ J}$
vastaks vaid ühe kalluri koormale
- Kahjuks on täielik konverteerimine praktikas teostamatu

SEOSEENERGIAOSA

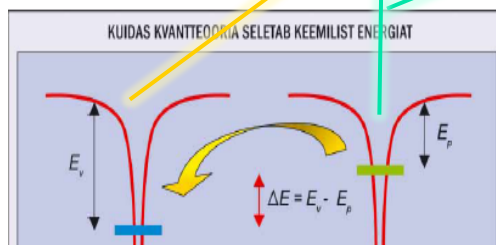
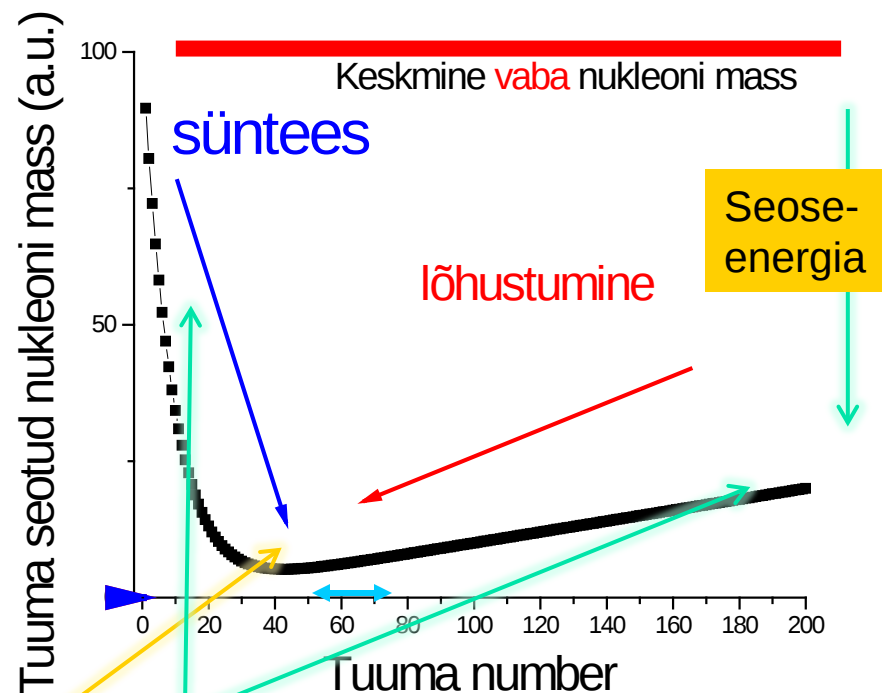
Väljade osakaal kasvab aine süvatasanditel

- Näiteks deutron (prootoni ja neutroni seotud süsteem) on $\sim 10^{-3}$ (ehk ühe tuhandiku) võrra kergem kui vabad prooton ja neutron
- Päikesel ühinevad 2 vesiniku tuuma (prootonit) üheks He tuumaks, mille mass on 0.7% väiksem 2 mitteseotud prootoni massist
- Samas moodustab kvarkide mass vaid 1% prootoni massist (prootonis on 3 kvarki)

Tuumaenergeetika: Massi ja energia ekvivalentsus praktikas

- Osa nukleonide massist peitub nende seoseenergiast
- Kõige stabiilsemad (st suurima seoseenergiaga) tuumad on massiarvuga 55-60 (Fe kandis)
- Energiat võib seega saada nii raskemate tuumade sünteesil kergematest (*fusion*) kui ka raskemate tuumade killustumisel/lõhustumisel (*fission*) kergemateks
- Nendes protsessides vabaneb seoseenergiate vahe, mille saab kasulikku tööd tegema panna

Skemaatiline, mitte täpne joonis



Hiroshima aatomiseen veel pool tundi
pärast plahvatust

Tuumaenergeetika esmane rakendus oli kahjuks militaarne

- Vaade Nevada maa-aluste tuumakatsetuste polügoonile õhust



Hirohimale heidetud pommi puhul muundati energiaks kõigest 0.6 g tema massist.
Kui palju energiat seejuures vabanes?

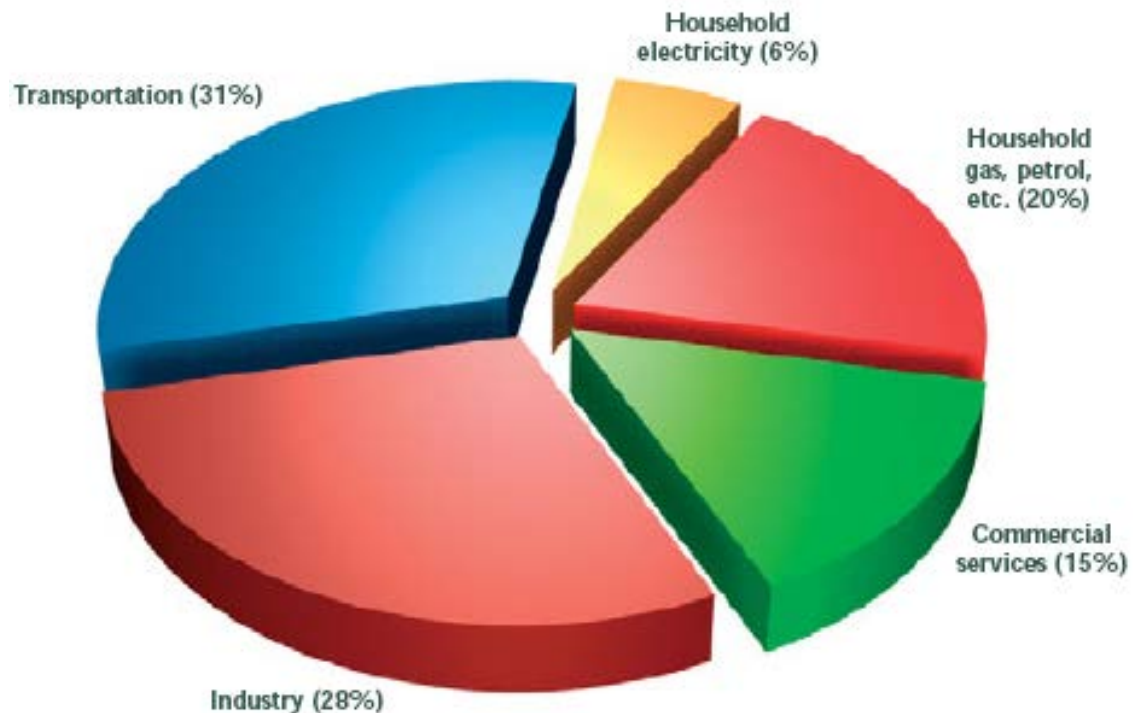
Me räägime energia kulutamisest.

Aga kuidas siis energia jäävuse seadusega jääb?

Milleks kulub toodetud energia?

Mida üldse tähendab energia jäävuse seisukohalt energia

- kulutamine
- tootmine

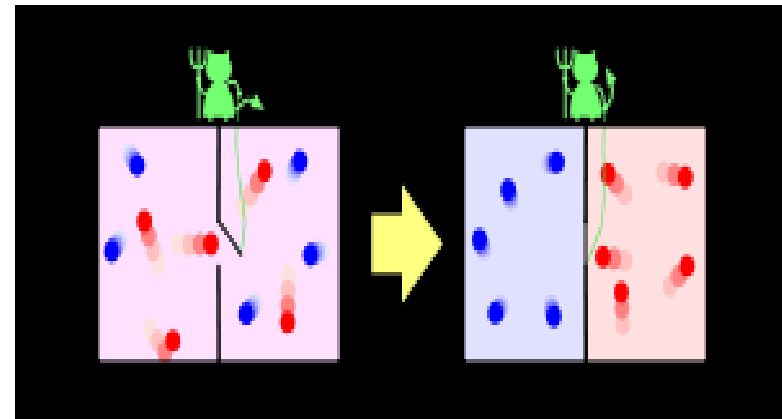


Ahvi raamatukogust ei tasu kvaliteetkirjandust otsida!



Materia kvaliteedist

- Dispergeeritult (st juhuslikult laialipillutult) on nii aine kui ka energia kvaliteet madal, ehkki nende kogus võib olla sama
 - On väga raske (st kallis) kasutada ookeanis dispergeerunud energiat/ainet
 - Ookeanis on tohutul hulgal lahustunud kulda ja teisi väärismetalle, kuid nende tootmine veest ei tasu ennast ära
 - Raamatud koosnevad tähtedest, kuid juhuslikul tähtede järjestusel pole mingit mõtet/väärtust
- Maxwelli deemonit, kes teeks ilma energiat kulutamata korratusest korda, pole olemas



- *To-take-home message:* Mitte õppimine iseenesest, vaid saadava hariduse kvaliteet on tähtis!

Materia kvaliteeti iseloomustab entroopia

- Kvaliteetne energia/aine on kas
 - ruumis lokaliseeritud
 - nt põlevkivi tükis või struktuursete sidemete näol molekulis
 - ja/või akumulierenud osakeste **koherentse** (ühesuunalise või vähemalt korreleeritud) liikumise näol
 - nt langev vesi või kivi
 - gravitatsioonivälja energia on kõrge kvaliteediga

- Energial/ainel on seega
 - nii **kogus**, mille kohta käib termodünaamika I ehk **energia jäävuse seadus**
 - kui ka **kvaliteet**, mida iseloomustab **entroopia**, millega on seotud termodünaamika II ehk **entroopia kasvu seadus**

NB! Termodünaamilised seadused kehtivad vaid makroskoopilistes süsteemides (ansamblites, kus on palju osakesi)

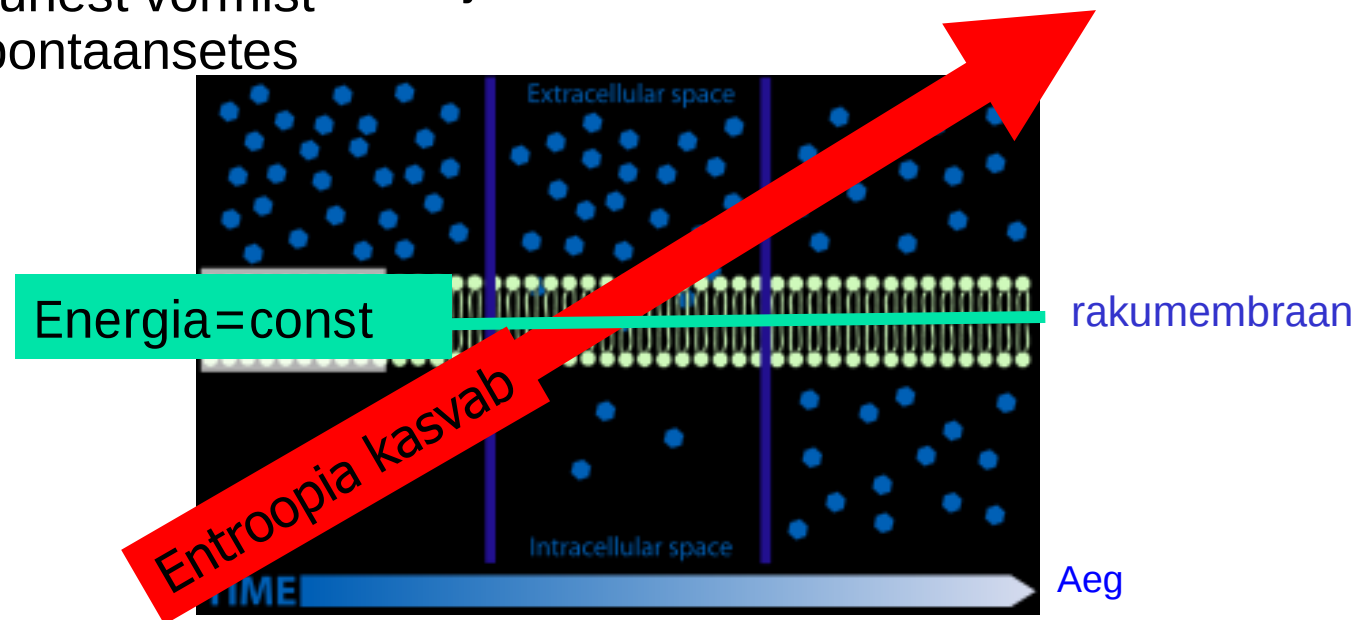


Rudolf Clausius (1822-1888):
sõna “entroopia” ristiisa



Termodünaamika I ja II seadus

- I seadus sätestab, millised protsessid on üldse võimalikud
- (Isoleeritud süsteemis) energia on jääv – energia ei teki ega kao, üksnes transformeerub ühest vormist teise ja hajub spontaansetes protsessides
- II seadus sätestab, millised võimalikest protsessidest toimuvad iseenesest (st ilma täiendava tööta)
- Entroopiat tekib (isoleeritud süsteemis) toimuvates spontaansetes protsessides ainult juurde



Spontaansetes protsessides materiale kvaliteet langeb



- Gaaside paisumine
- Ainete (vedelike, gaaside) segunemine (nt kohvikoor või suhkur)
- Difusioon (sh läbi rakumembraani)
- Osmoos
- Sooja toidu jahtumine
- Kütuse põlemine (nt auto mootoris)
- Metalli roostetamine
- Mädanemine
- Kõdunemine
- Vananemine
- Surm
- Liiklusõnnetuses deformeeruvad autod
- Välk ja müristamine
- Palli sumbuv põrkumine
- Valju muusika nõrgenemine tudengite ühiselamust eemaldudes
- Lainete sumbumine kivi kukkumiskohast eemal

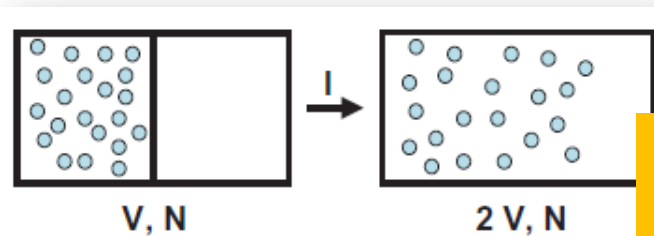
Energia (materja) hajumine määrab kõikide loomulike protsesside suuna



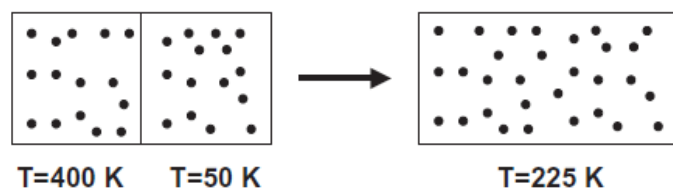
- Energia/aine hajumisel on kaks aspekti:

- 1. Hajumine ruumis (suurema arvu energiaolekute vahel)

- Siin on asjakohane küsida:
 - kui palju?
 - kui laialt?



Osakeste/energia hajumine ruumis

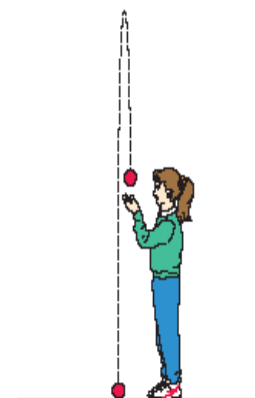
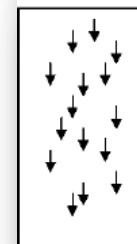


Temperatuuri hajumine ruumis

- 2. Liikumise või ruumilise korrapära (koherentsuse) kadumine

- Näiteks langeva kivi kineetilise energia muutumine soojuseks kokkupõrkel Maaga
 - Hiljem õpime, et soojusenergiat defineeritakse kineetilise energia kaudu

Liikumise dekoherents kokkupõrkel Maaga

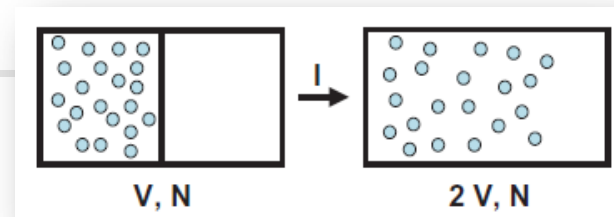


A vibrant landscape photograph featuring a large, multi-colored rainbow arching across a dramatic, cloudy sky. Below the rainbow, a calm body of water reflects the sky and the surrounding greenery. In the foreground and middle ground, several large, golden-yellow hay bales are scattered across a grassy field, some partially submerged in the water. The overall scene is peaceful and scenic, with a mix of natural elements like water, grass, trees, and the weather phenomenon of a rainbow.

Entroopia on energia hajumise
protsessi kvantitatiivne mõõt
(kui palju ja kui laialt energia antud temperatuuril hajus)

Aga, II seadus ei ütle midagi energia hajumise kiiruse kohta!

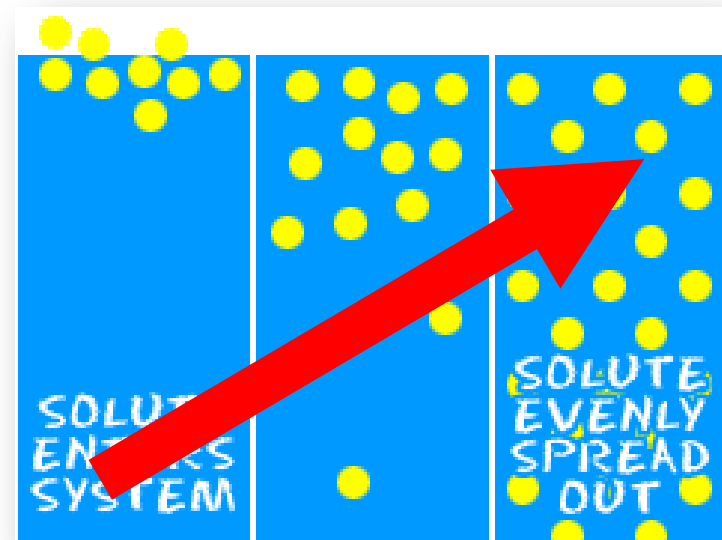
- Termodünaamika II seaduse järgi igat vormi energia hajub spontaanselt
- Hajumine realiseerub, kui selleks on olemas soodsad tingimused
 - Hajumine on võimalus, kuid mitte hetkeline imperatiiv!
- See asjaolu on väga oluline elu määravate protsesside mõistmise seisukohalt
 - Aktivatsioonienergia takistab protsesside liig-kiiret kulgu
 - Eluprotsesse reguleerivad ensüümid
- Teisalt: II seaduse rakendumist võib edasi lükata, aga seda ei saa lõputult ära hoida (**metastabiilne tasakaalu mõiste**)
 - nt autokeret värvides saab kere roostetamist aeglustada, mitte peatada



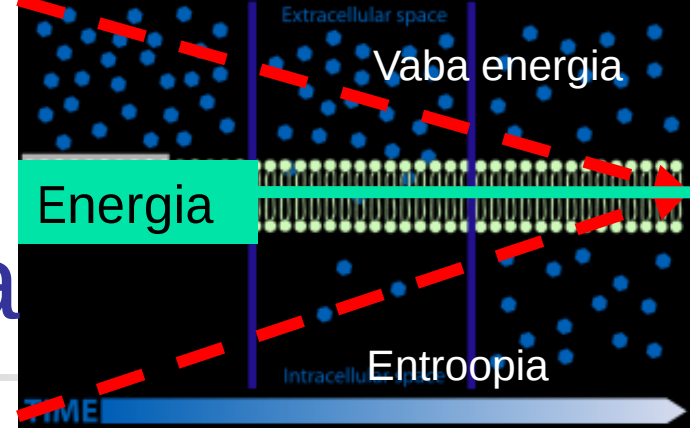
Kuhu pürib entroopia?

Termodünaamiline tasakaal

- Kõik süsteemid pürivad tasakaalu poole
- Tasakaal on üks termodünaamilise süsteemi olekuid
- Tasakaaluolekus süsteemi (statistiliselt keskmistatud) parameetrid ajas ei muutu
- Tasakaalu iseloomustab antud tingimustes maksimaalne entroopia ja minimaalne (vaba) energia



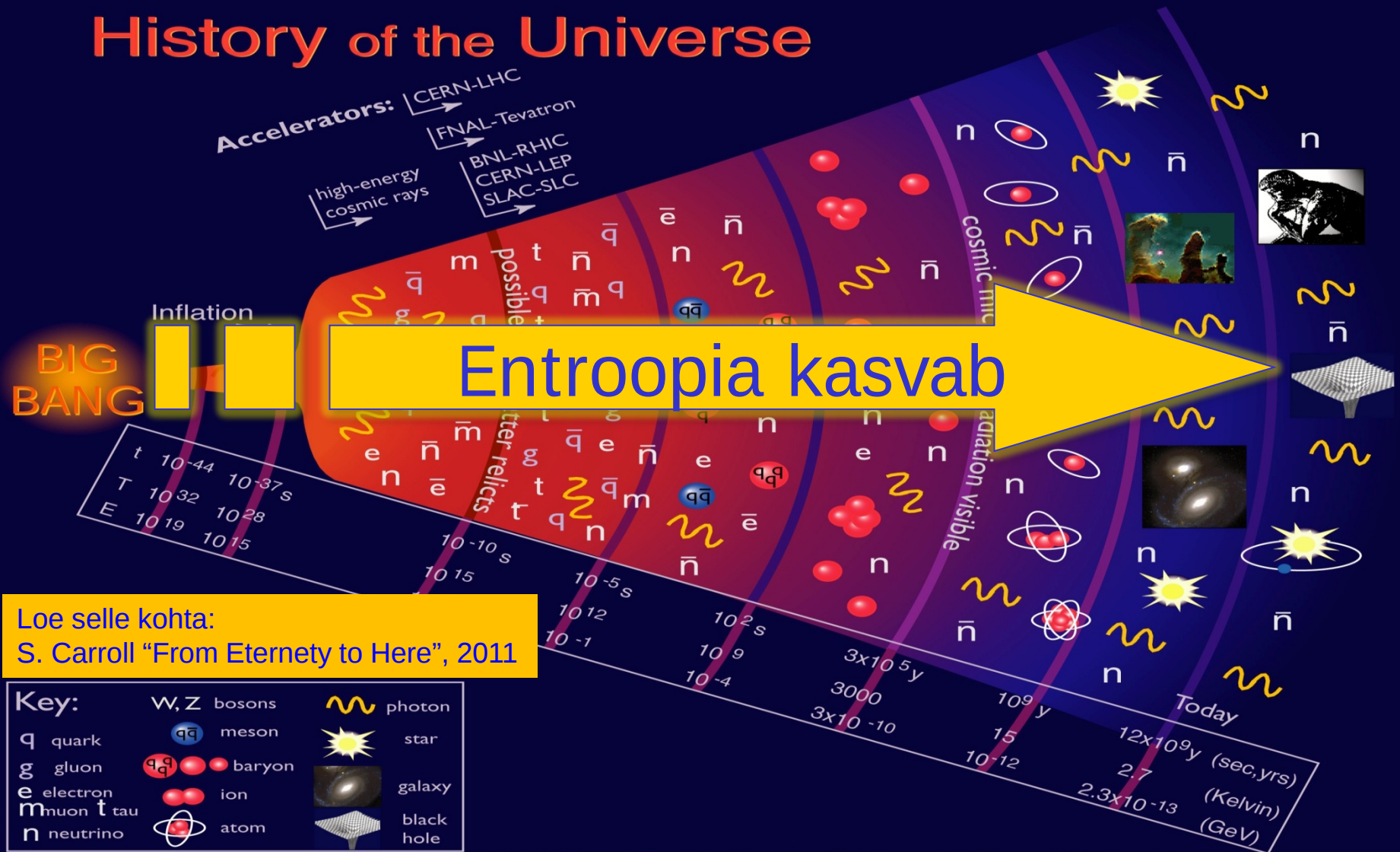
Näiv vastuolu füüsika dünaamikaseadustega



- Termodünaamika II seadus väidab, et kõik protsessid pürivad vaid ühes suunas - püsiva tasakaalulise oleku poole
- Nii klassikalise kui ka kvantmehaanika seadused on aga **aja suuna suhtes (+ ja -) sümmeetrilised**
- St algoleku taastumine ja dünaamika korduvesitus (*recurrence and replay*, Poincare (1890)) peab vähemalt põhimõtteliselt võimalik olema
- Isegi kui põhimõtteliselt võimalik, võtab see makroskoopilistes süsteemides (osakeste arv $\sim N_A$) äärmiselt vähetõenäoline (e võtab väga palju aega)
- Lisaks, mistahes nõrk interaktsioon väliskeskkonnaga põhjustab nii klassikaliste kui ka kvantsüsteemide dekoherentsi (pöördumatuse)
 - Sama põhjus, miks me ei näe elevandile vastavaid materjalaineid (selle kohta vt nt Kadomtsev UFN 165 (1995) 967)
- **Seepärast näib makromaailmas aeg kulgevat vaid ühes suunas**

A. Eddington pakkus, et inimese aja tunnetus (mitte aeg ise!) võib olla seotud loomulike protsesside suunaga

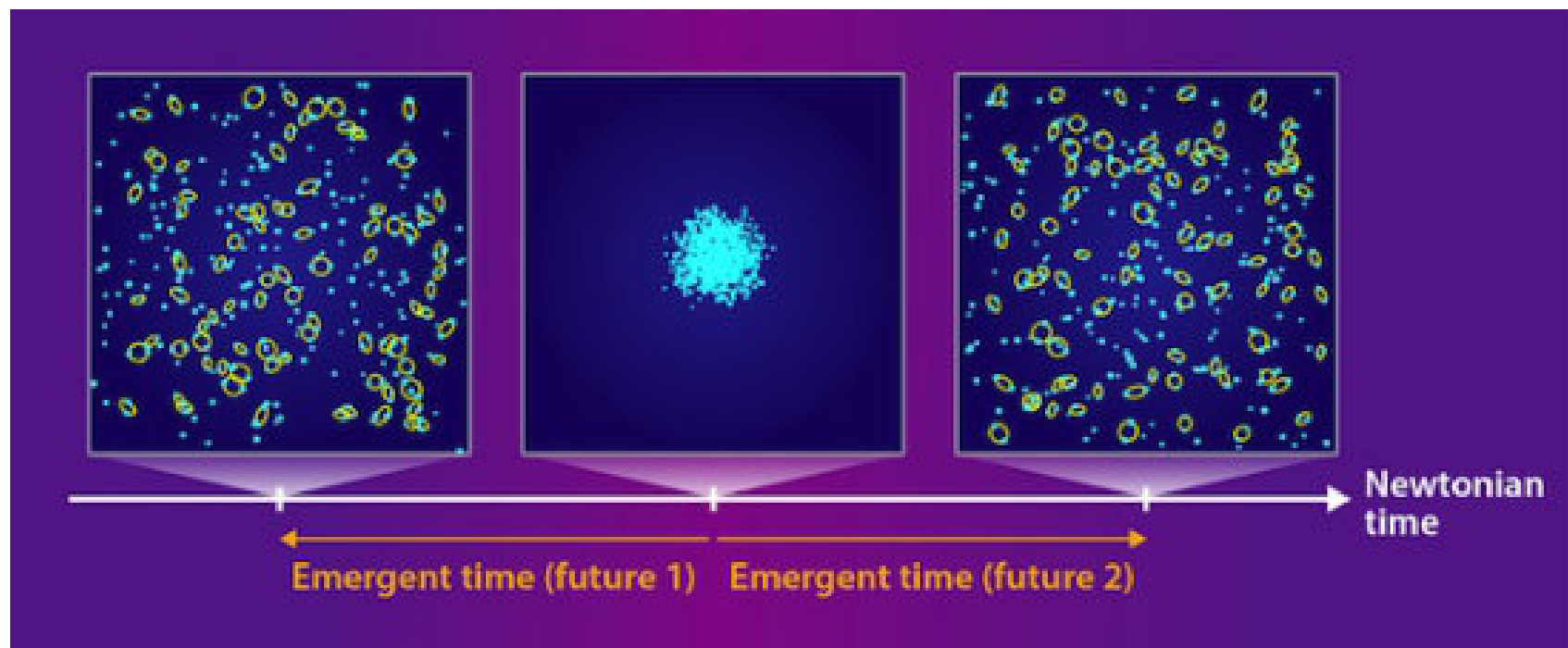
History of the Universe



Loe selle kohta:

S. Carroll "From Eternity to Here", 2011

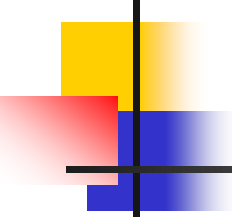
Kas kuskil on olemas paralleeluniversum,
kus aeg liigub tagurpidi?



Antimateeria

Mateeria

E. Öpik: Koguda antiainet on just sama praktiline (ja lõpmata palju kordi ohtlikum), kui hoida püssirohtu küdevas ahjus



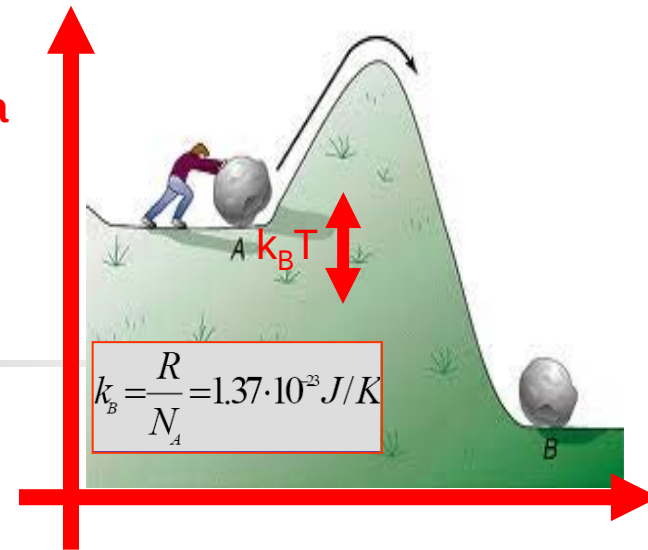
Antiaine omadusi

- Antiaine omab ainega võrreldes
 - vastupidist laengut
 - ümberpööratud paarsust (vasak ja parem pool on ära vahetatud)
 - vastupidist aja suunda
Feynman: antiaine on lihtsalt tavaline aine, mis liigub ajas tagasi
- Osakesed, mis ei oma laengut on iseenda antiosakesed
 - Nt footon ja graviton (antimaailmas kukub antiõun ikka anti-Maa poole, mitte sellest eemale)
- Tänapäevane nähtava Universumi asümmeetria aine kasuks on arvatavasti Suure Paugu iseärasus, millel siiani puudub hea seletus
- Pole välistatud antiainest koosnevate Universumi piirkondade olemasolu
- Aine ja antiaine annihilatsioonil vabaneb $\frac{1}{2}$ massist kasutatava energiana, ülejäänu viivad raskestitavatavad neutriinod (aga vt Öpiku repliiki)

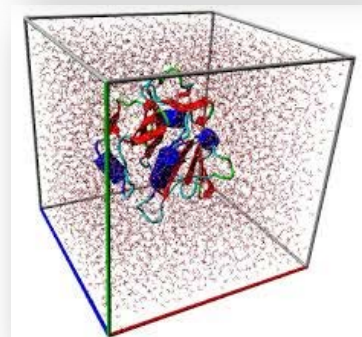
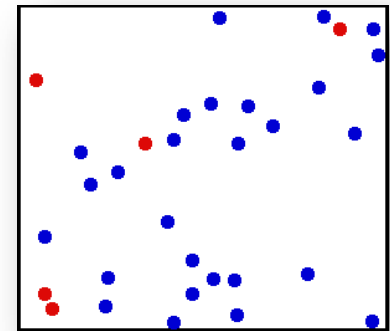
Potentsiaalne ja vaba energia

- Newtoni mehaanikas me defineerime **kehade asukohast sõltuvat energiat** kui **potentsiaalsed energiad**
- Mehaanikas on tegemist soojusliikumise keskmise energiaga ($k_B T$) võrreldes väga suurte energiatega
- **Aatomite/molekulide puhul, kui $T > 0$, räägitakse tihti vabast (potentsiaalsest) energiast, mitte lihtsalt potentsiaalsest energiast**

Vaba energia



Reaktsiooni / konfiguratsiooni koordinaat



Vaba energia

- Teoorias avaldub vaba energia kahe liikme, **entalpia** ja **entroopia**, vahena

$$G = \underbrace{U + pV}_H - TS$$
$$= H - TS$$

- Kumb neist liikmetest domineerib, sõltub temperatuurist
 - madalal T-l ruulib energia (H ehk entalpia) liige
 - kõrgel T-l muutub oluliseks aga entroopia S, sest (T-ga energia hajumine suureneb)



- Süsteemi **entalpiat** loetakse **organiseerivaks** faktoriks
 - kui p ja V protsessi käigus ei muutu, siis räägime vaid **siseenergiast**

$$dH_{p,V,N} = dU$$

- **Entroopia** on aga süsteemi **desorganiseeriv** faktor

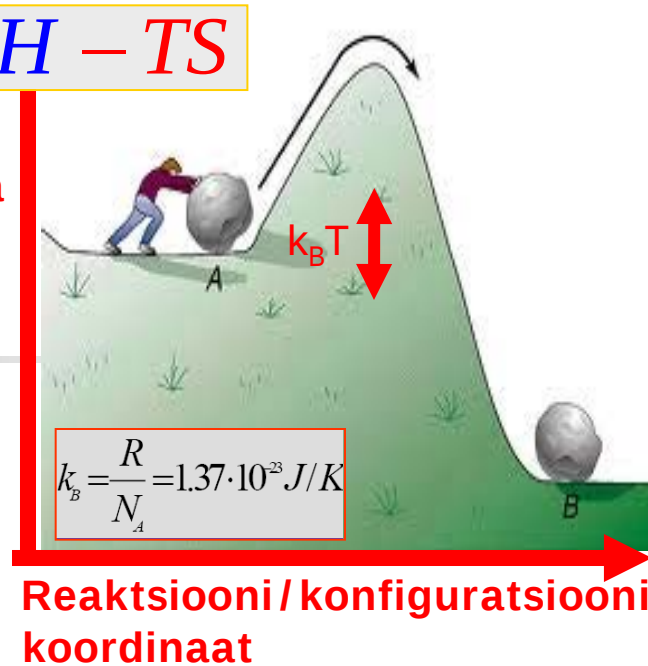


Millest selline vahetegemine?

- Nano-osakeste (nt valgud) iseloomulikud energiad on keskmise soojusliikumise energia suurusjärgus ($k_B T$)
- Klassikalise füüsika “osake” (nt piljardikuul) sisaldab $\sim N_A$ aatomit/molekuli
Tema koguenergia on seega suurusjärgus $N_A \times k_B T$, ehk $k_B T$ -st mõõtnatult suurem, võimaldades entroopiaga S seotud liiget ignoreerida

$$G = H - TS$$

Vaba energia



- Vaba energia on ajalooliselt väljakujunenud termin
- Võib küsida - vaba milleks?
- Õige vastus on: Vaba (kasuliku) töö tegemiseks
- Probleem on selles, et soojuse kujul ülekantavat energiat ei saa 100% tööks konverteerida
Miks? Seda me õpime lähemalt aasta pärast

Mehaaniline vs termodünaamiline tasakaal

$$G = U + \underbrace{pV}_H - TS$$
$$= H - TS$$

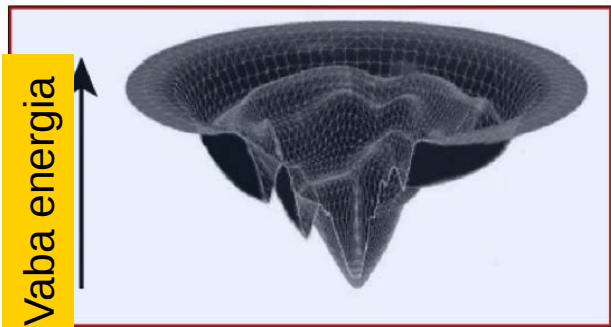
Füüsikalised süsteemid
(üksikud „suured“ kehad/osakesed)

Potentsiaalne energia

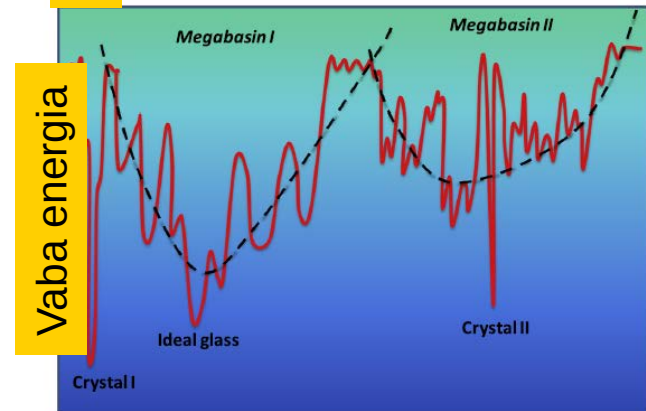


Mehaaniline keha pürib vähima
potentsiaalse energiaga oleku poole

Bioloogilised süsteemid (paljude
„väikeste“ kehade keskmine)

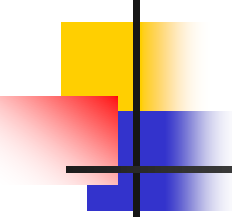


Vaba energia



Coordination coordinate

Termodünaamiline keha pürib
vähima vaba energiaga oleku poole



Me räägime energia kulutamisest

Niisiis, mida tähendab energia jäävuse seisukohalt energia

- kulutamine
- tootmine
- Vastus:
 - Kulutamise käigus energia hajub
- Energia tootmine aga tähendab energia väärindamist ning kontsentreerimist ruumis

Energia kui geopoliitiline tegur

- Maa ja inimesed
- Toore
- Energia

Solar Refrigerator Moving Hospital in Tunisia



Inimkonna aastane energiakulu



- $\sim 5 \cdot 10^{20} \text{ J}$
- $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$
- $15 \text{ TW} \times 31.5 \cdot 10^6 \text{ s} \sim 5 \cdot 10^{20} \text{ J}$

Võimsuse vajadus a 2050: 30 TW

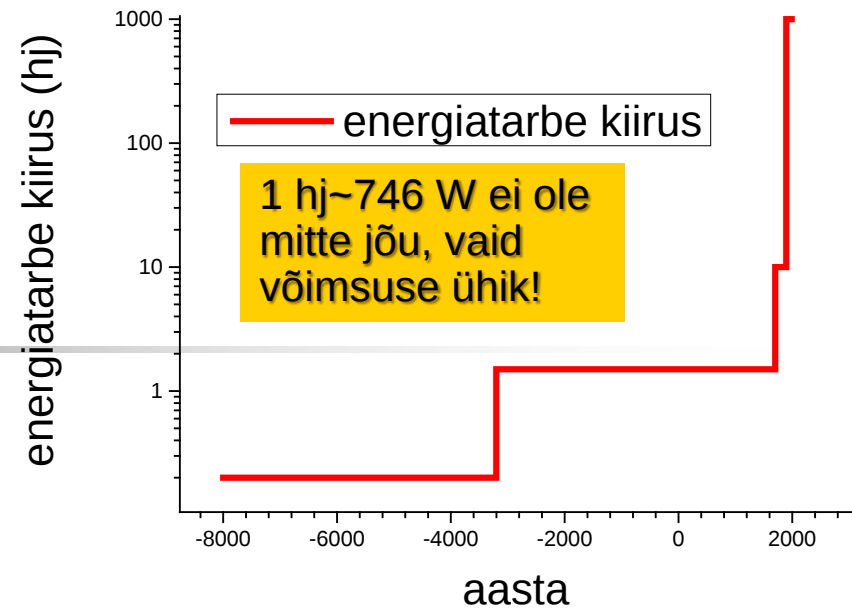


Tsivilisatsioon ja energiatarbe kiirus

- Tsivilisatsiooni arengut viimased 100000 aastat iseloomustab kõige paremini järjest **kiirenev energia tarbimine**

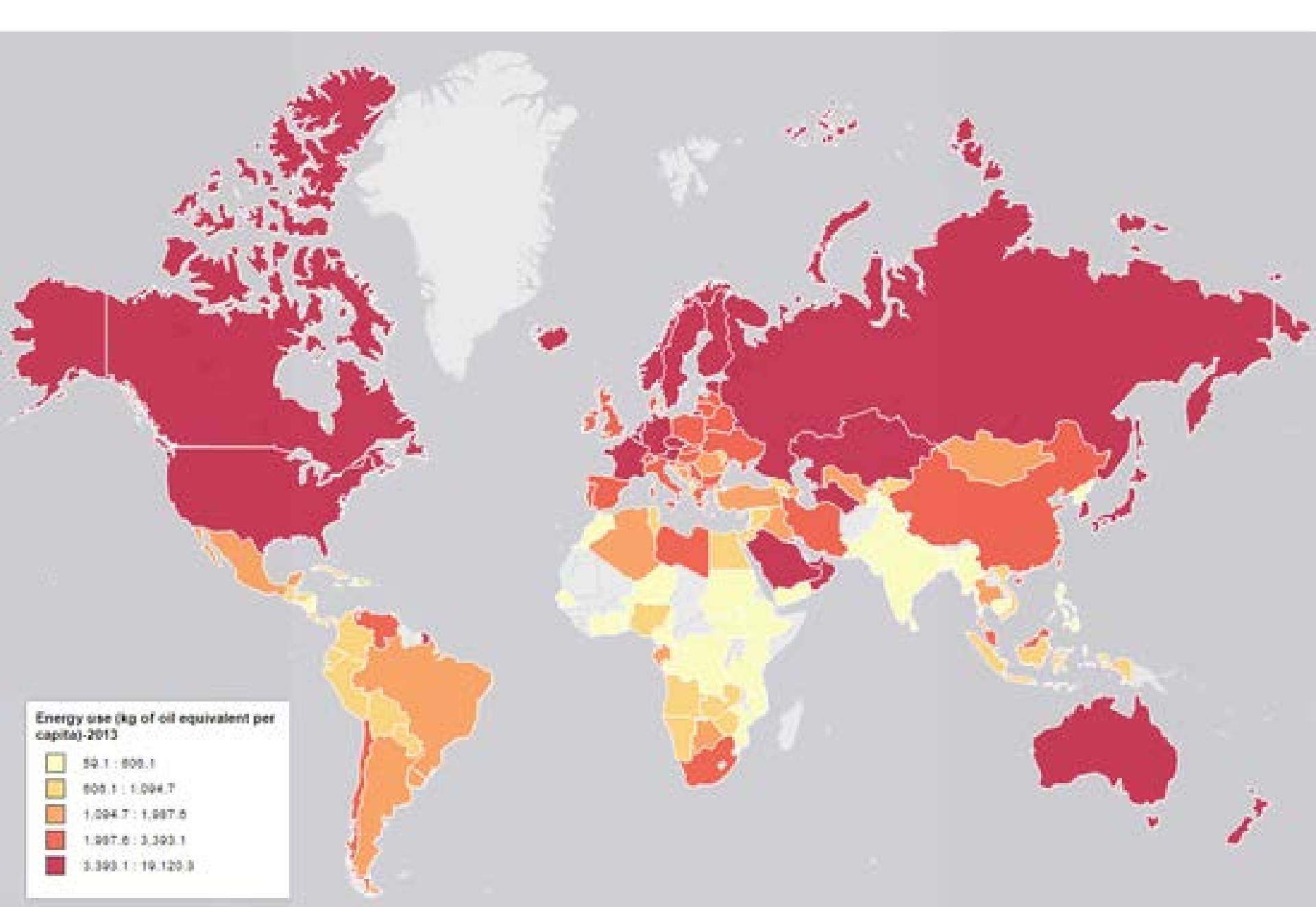
The history of man is much more a history of the development of his uses of energy than it is the story of the vagaries of kings and conquerors
Isaac Asimov: Life and Energy

Inimese energia kulutamise kiirus:
Ööpäevas on 86400 s
 $9450000:86400=109 \text{ J/s}$, so $\sim 100 \text{ W}$
• Sama energiakoguse, 10 MJ, saame vaid $\sim 0.25 \text{ l}$ (teeklaas) bensiini põletamisel!

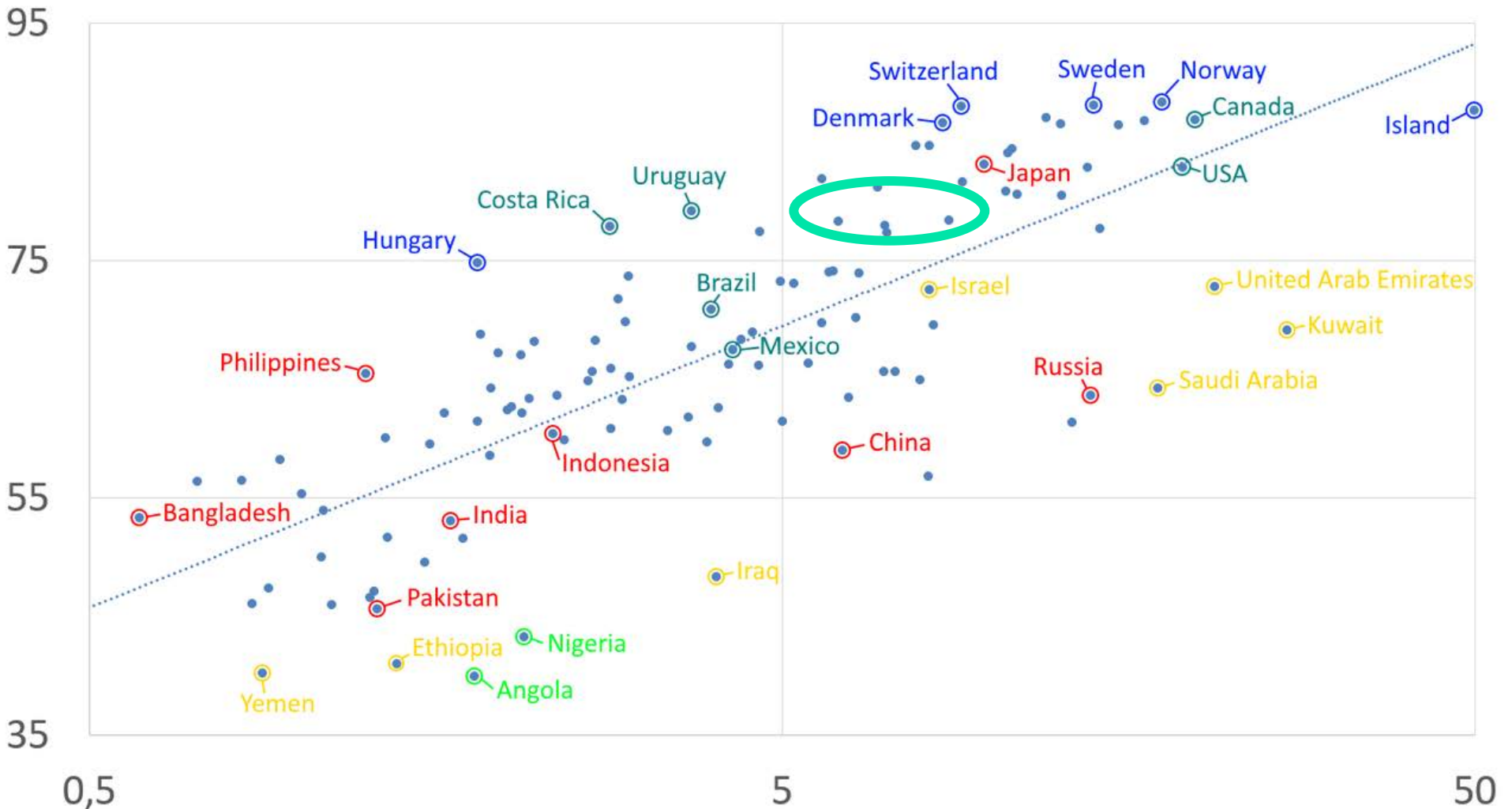


Areng **ühe inimese** käsutuses oleva võimsuse järgi (mõõdetuna hj ühikutes)

- -10000 a tagasi (nomaadlik periood): **1/5 hj**
- 8000 a B.C. -17. saj (põllumajandusrevolutsioon): **1-2 hj**
- 18. saj- 20. saj teine pool (tööstusrevolutsioon): **10 hj**
- 20. saj teine pool- kaasaeg (info-revolutsioon): **1000 hj**



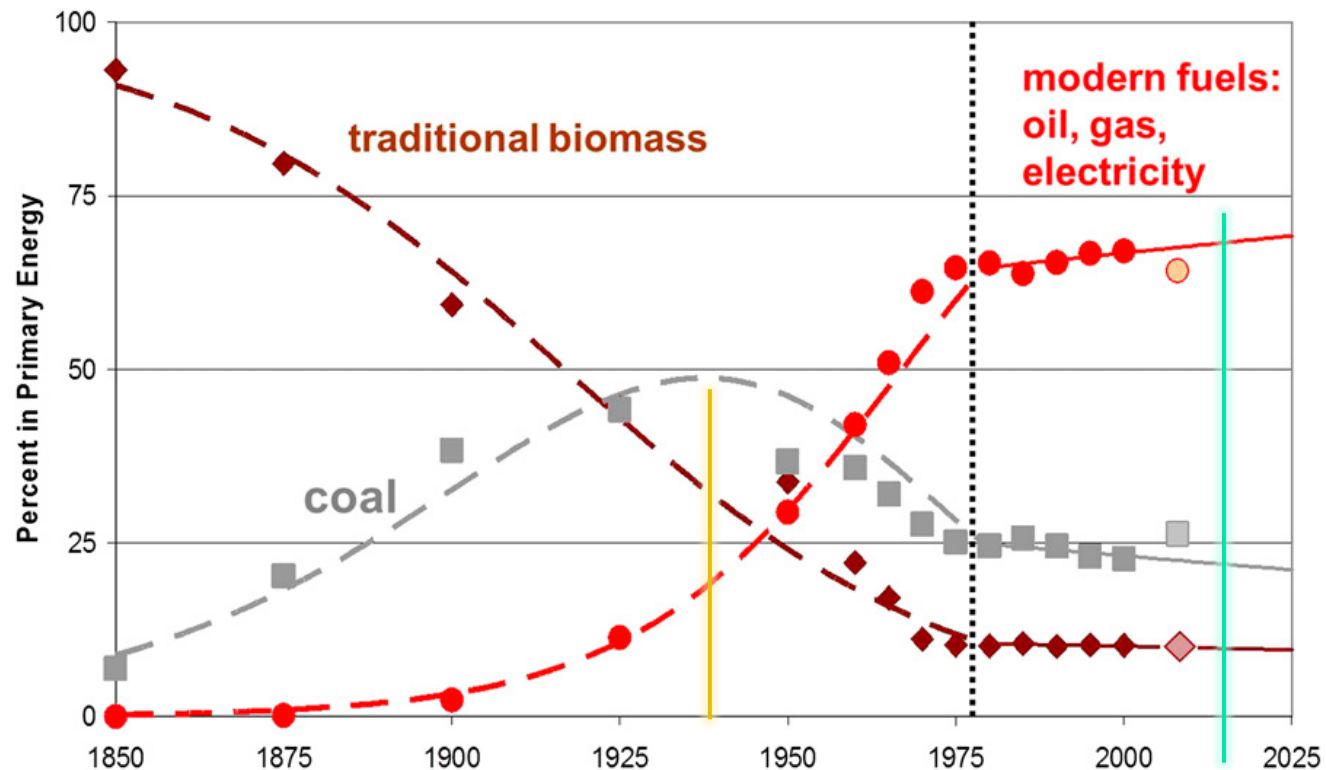
Social Progress Index vs Energy per country



Liter Oil Per Day (Per Capita, Energy Equivalent)

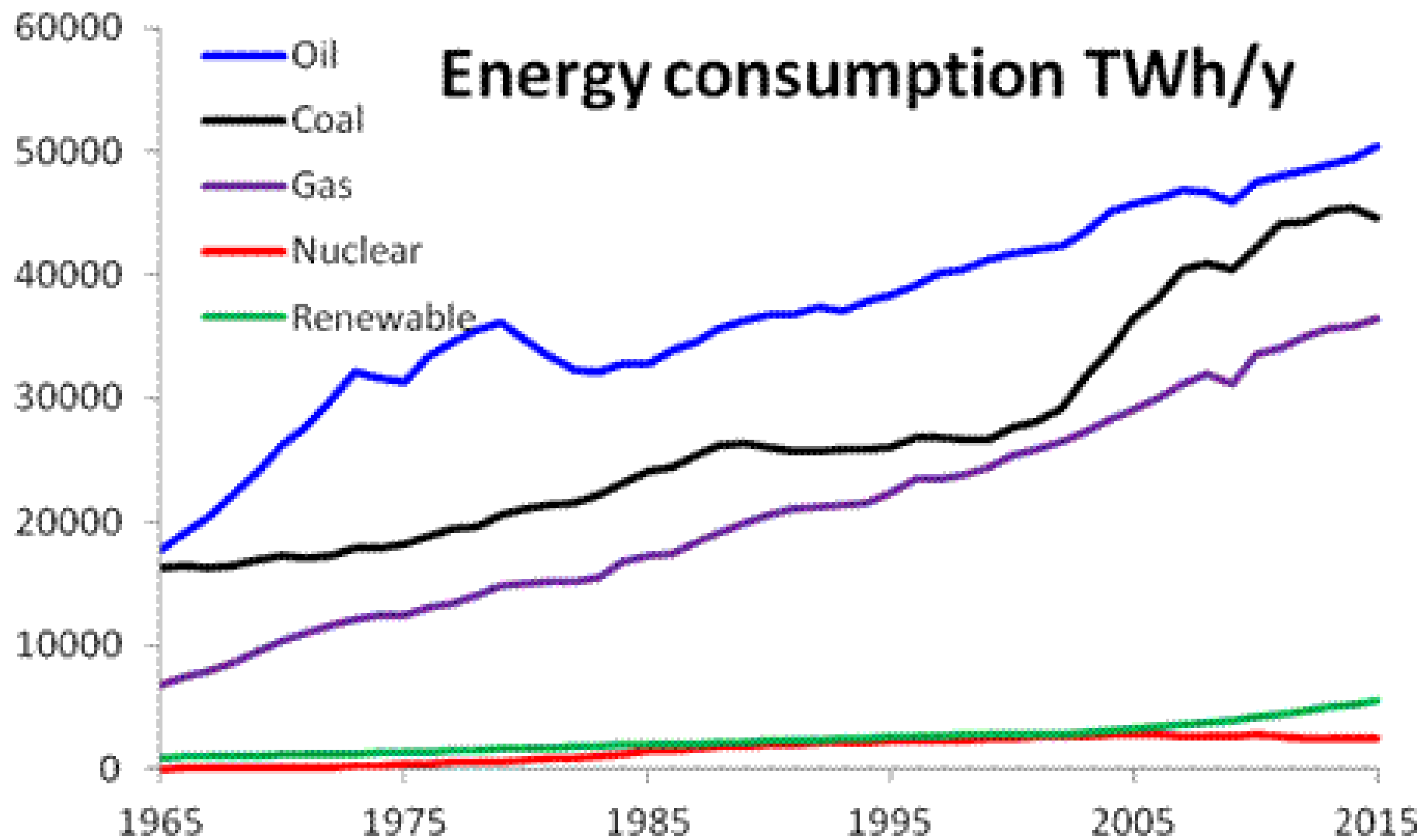
Not all shipping and aviation energy included

Esmaste energiaallikate dünaamika: 1850–2025



According to Dangerman and Schellnhuber PNAS January 7, 2013.

Energy consumption TWh/y

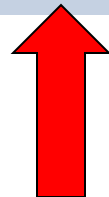


Miks me naftat/gaasi eelistame?

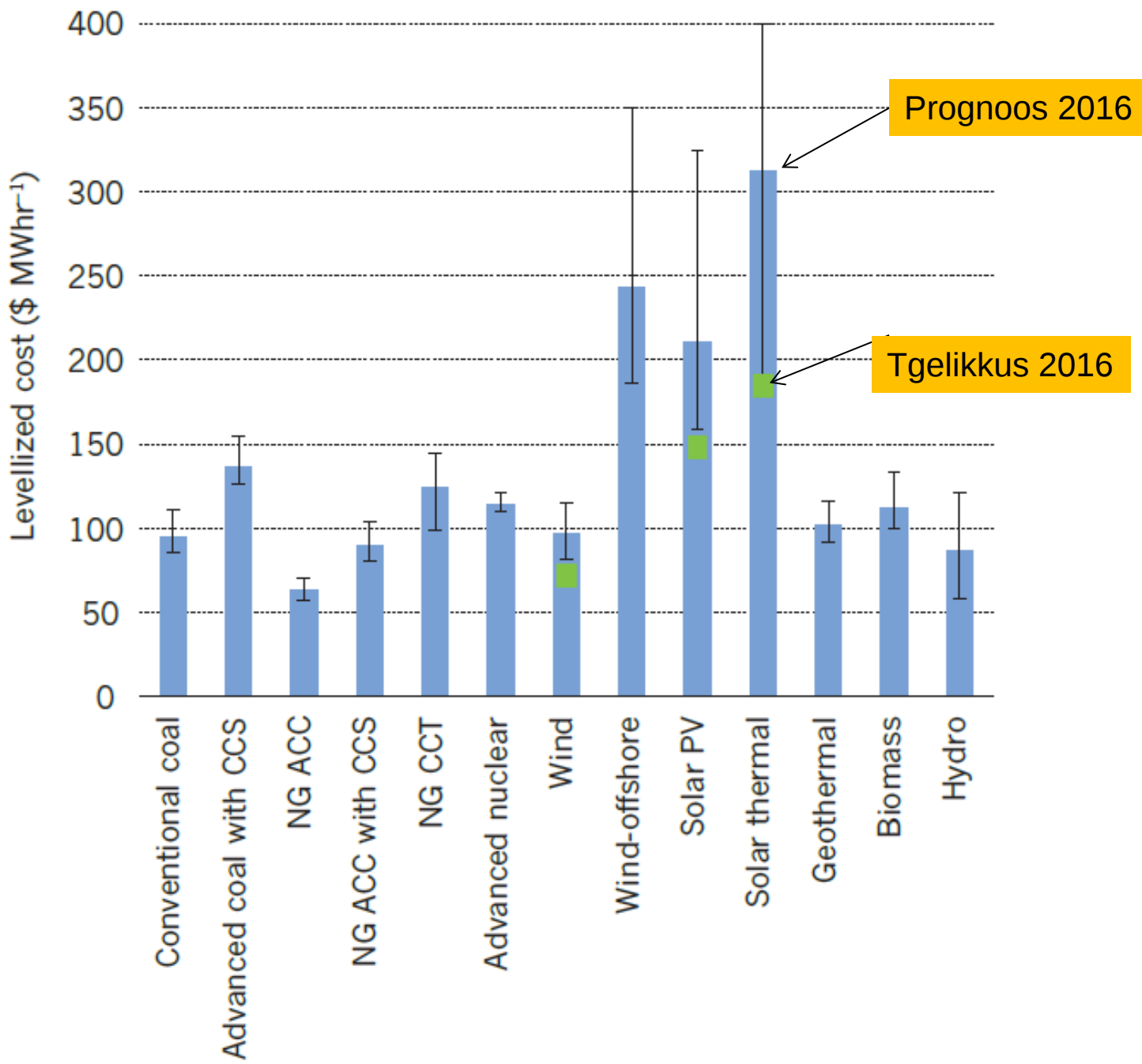


Form of Energy	Unit size	Cost per unit (Euro)	Energy content per unit (kWh)	Cost per kWh (Euro)
Electricity	1 kWh	0.11	1	0.11
Natural gas	1 m ³	0.11	10	0.01
Gasoline	1 liter	1.1	8	0.13
Battery	1 AA penlight	1.0	0.001	900

3MJ

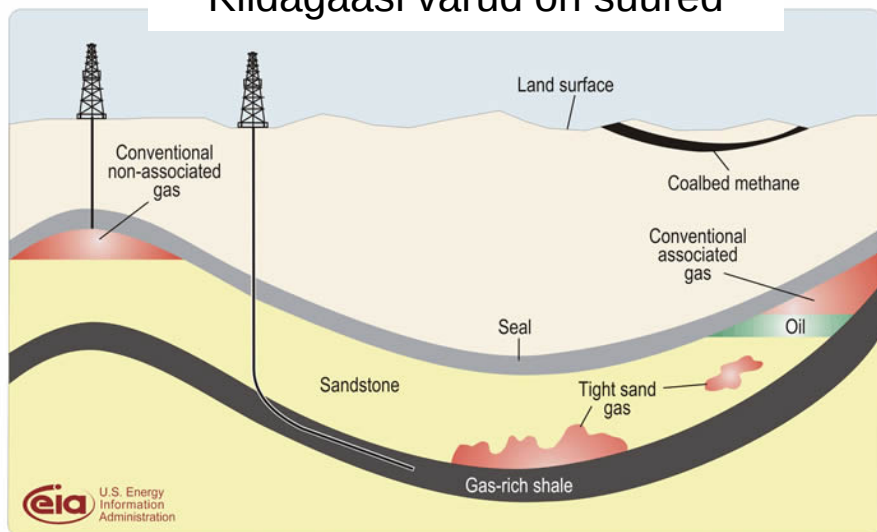


Tegelekkus prognoosit soodsam

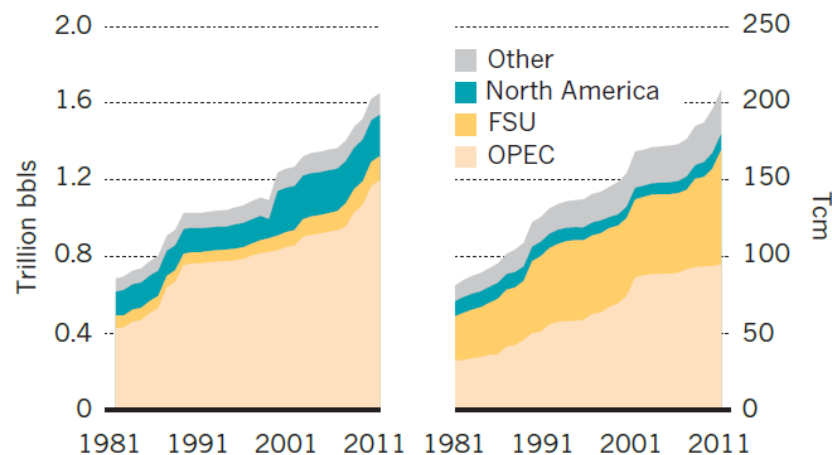


Fossiilseid kütuseid jätkuks veel kauaks, kui mitte see kliima soojenemine....

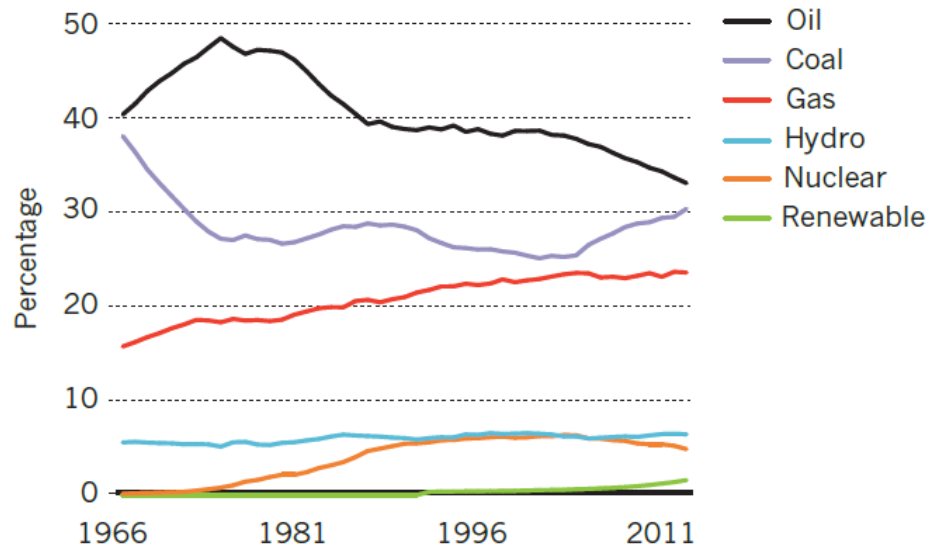
Kildagaasi varud on suured



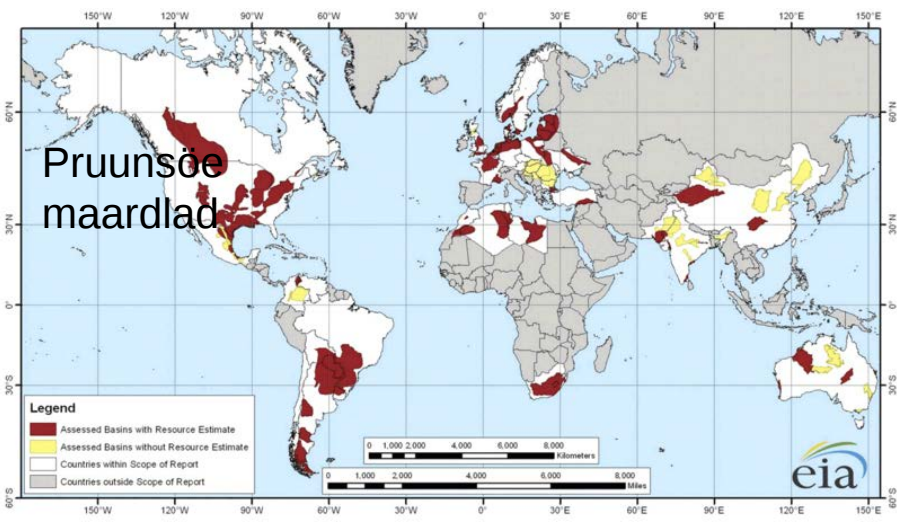
Oil and gas reserves

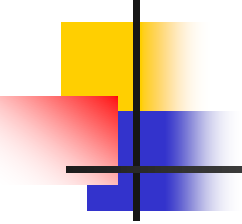


Shares of world primary energy



Pruunsõe
maardlad





**Kas täis-taastuv-
energeetika on
võimalik?**



Taastuvenergia osakaal

Taastuvenergia osatähtsus maailma energiakasutuses on praegu ja lähikümnennditel naeruväärselt väike.

- Taastuvenergia**
- Tuumenergia
- Hüdroenergia
- Gaas
- Nafta
- Kivisüsi

* Naftaekvivalendi ehk tingkütuse tonn on energiaühik, see näitab energiakogust, mis saadakse ühe tonni toornafta põletamisega

** Sisaldab biokütuseid

miljardit tingkütusetonni*



1870 1910 1950 1990 2010 2030



RENEWING EUROPE'S ENERGY

Many European nations get a sizeable fraction of their energy from renewable sources; wind and solar power are growing rapidly.

Hydro



Wind, solar and other renewables

64%
1%



Norway

30%
8%



Sweden

27%
1%



Switzerland

25%
5%



Austria

11%
11%



Portugal

10%
9%



Finland

18%
5%



Denmark

5%
9%



Spain

6%
5%



Italy

10%
1%



Romania

1%
8%



Ireland

1%
8%



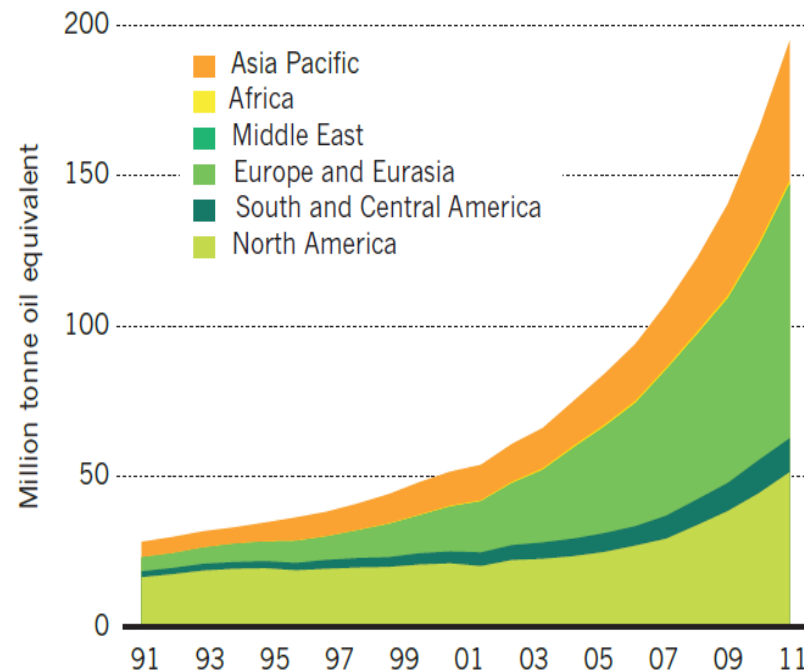
Germany

SOURCE: BP STATISTICAL REVIEW



Tuulegeneraatorid muundavad õhumolekulide liikumise kineetilise energia elektrienergiaks

Other renewables consumption by region



Energia tihedus on taastuenergia allikate üks piirangutest

- Tuulegeneraatoreid ei saa liiga lähestikku paigutada

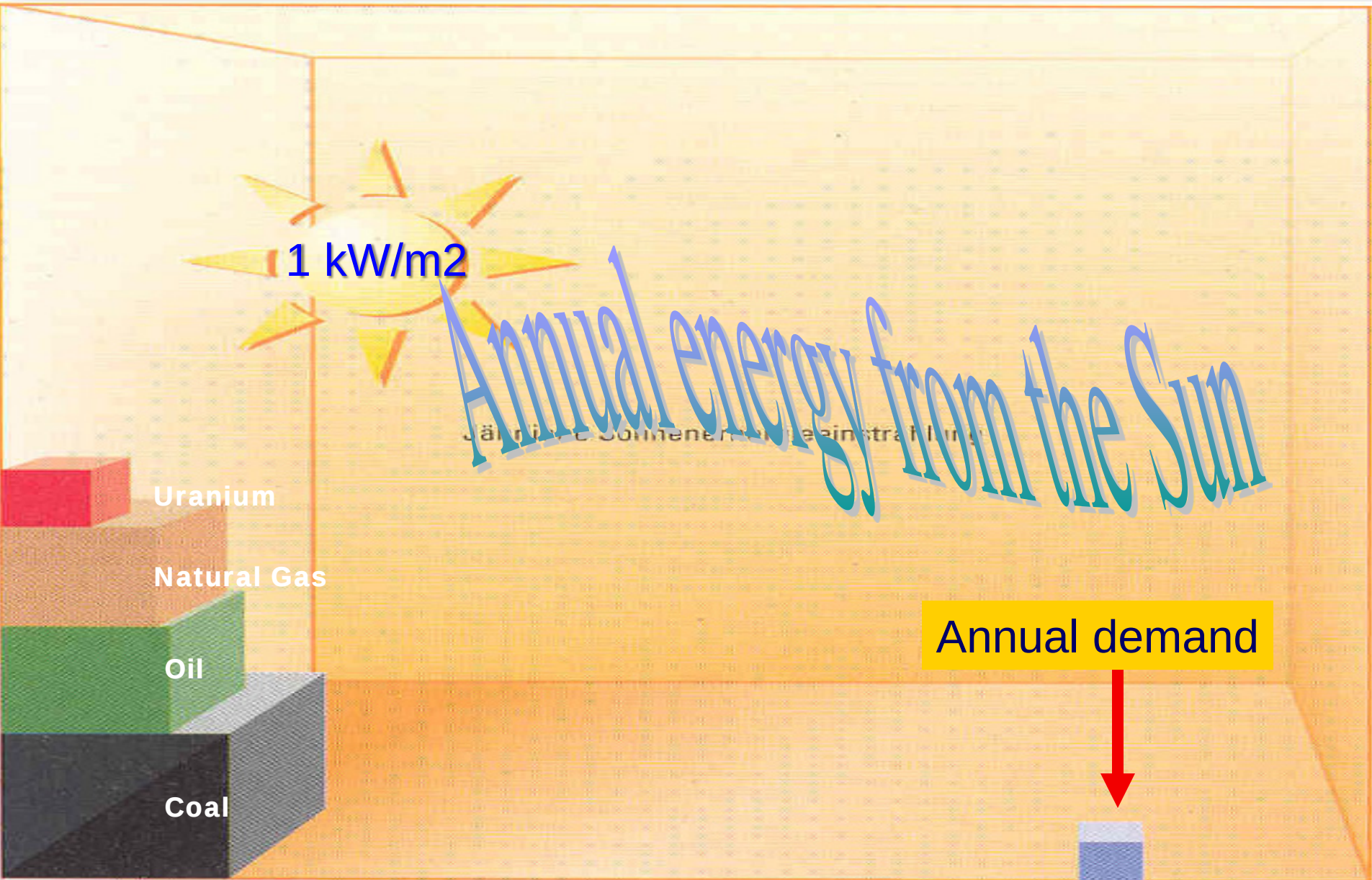


Päike on Kunn!

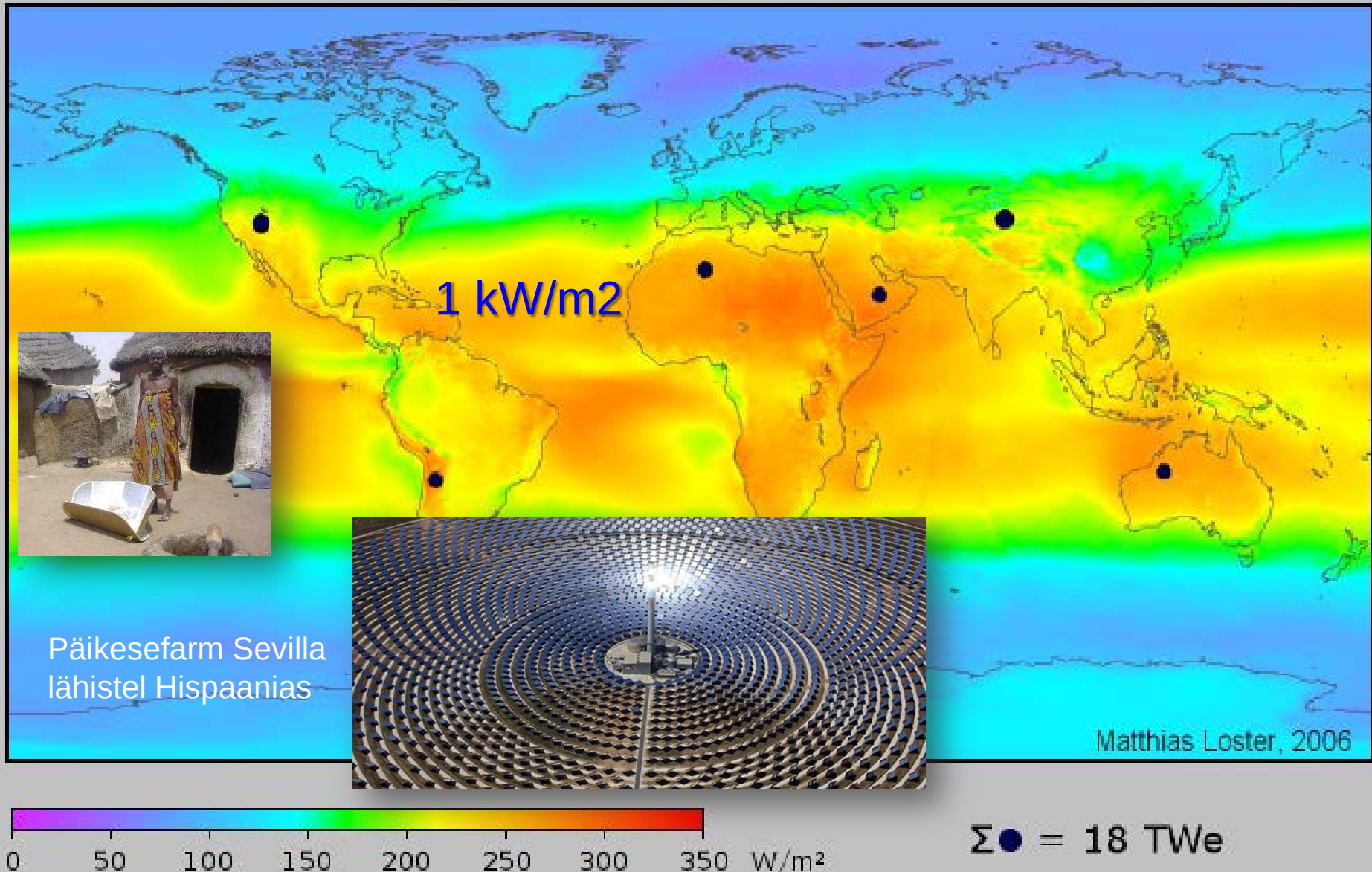
Prantsuse "Päikesekuningas" Louis XIV



Päikeseenergeetika potentsiaal on suur



Päikeseenergeetika potentsiaal on suur

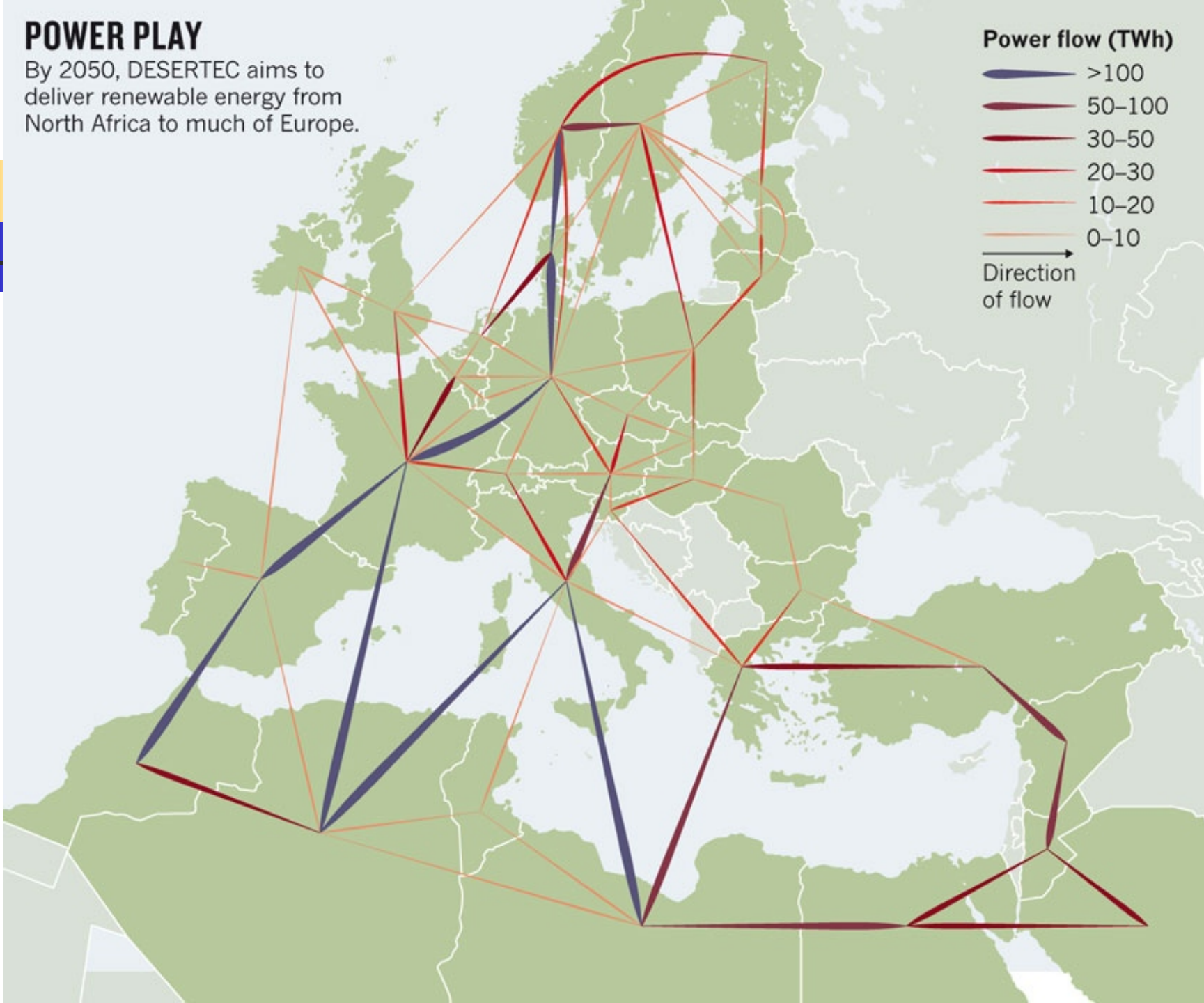


All energy currently consumed, inc heat, electricity, fossil fuels, etc, could be produced in the form of electricity by SC (with conversion efficiency of 8%)

See polegi ulme!

POWER PLAY

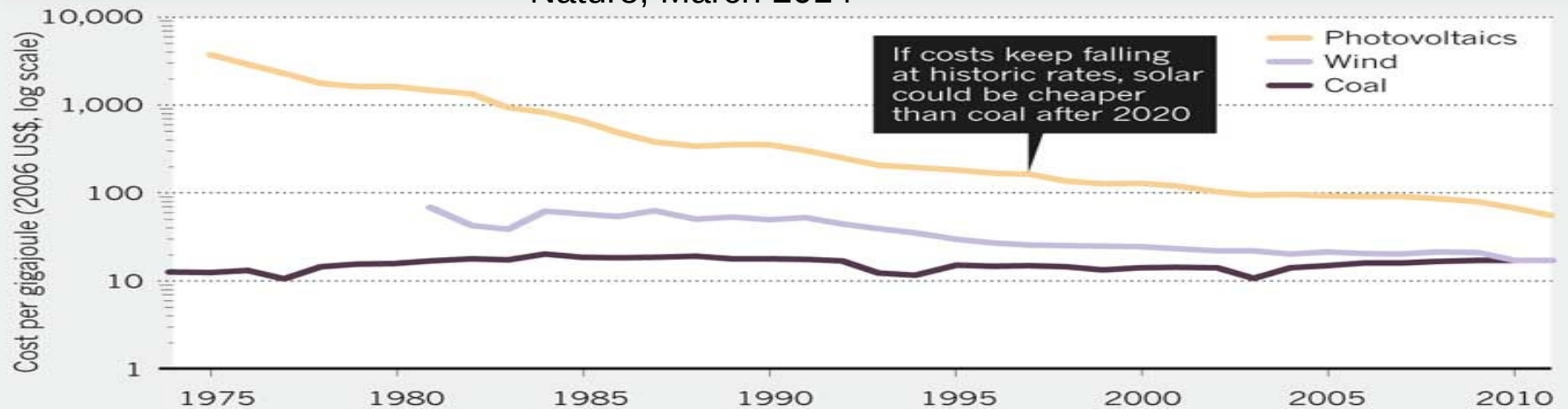
By 2050, DESERTEC aims to deliver renewable energy from North Africa to much of Europe.





2 ELECTRICITY COST TRENDS

Nature, March 2014



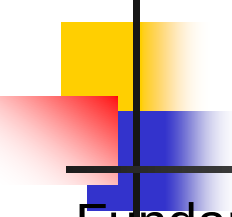
Jaapani ehitusfirma Shimizu pakkus hiljuti välja senistest kaugelt kõige suuremõõtmelisema ja ambitsioonikama plaani päikeseenergia kogumiseks



Plaan seisneb päikesepaneelidest koosneva vöö ehitamises ümber Kuu 11 000 kilomeetri pikkuse ekvaatori.

Nii toodetud energia saadetakse mikrolainete ja laseritega Maale, kus see muudetakse elektriks.

Ettevõtte sõnul saaks nii rahuldada kogu maailma energiavajaduse (Physorg).



Majandus ei saa eirata füüsikaseadusi!

Fundamentaalne konflikt majanduskasvu ja keskkonnakaitse vahel tuleneb termodünaamika seadustest, mis ülekantuna majandusse ütlevad:

- Td I seadus:
 - Mitterillestki ei saa midagi teha
 - Majanduse poolt tekitatud jäägid ei kao iseenesest kuhugi!

St, majanduskasv eeldab nii suuremat ressursikulu kui ka suuremat saastet

- Td II seadus:
 - Kuigi energia ja aine hulk on jäävad, muutub ajas nende struktuur ja kvaliteet
- St, ükskõik milliseid ressursse me ei kasutaks millegi kasuliku tegemiseks (nende hulka kuuluvad ka teenused ja ajutine rahuldus asjadest/teenustest), tekib selle käigus keskkonda paisatavaid madalaentroopseid (tihti ka toksilisi) jääke, mida looduslikud ökosüsteemid ei saa enam kasutada.
- Selles seisneb põhimõtteline vastuolu inimtekkelise majanduse ja looduslike ökosüsteemide vahel.

Kokkuvõte:

Energia ja entroopia



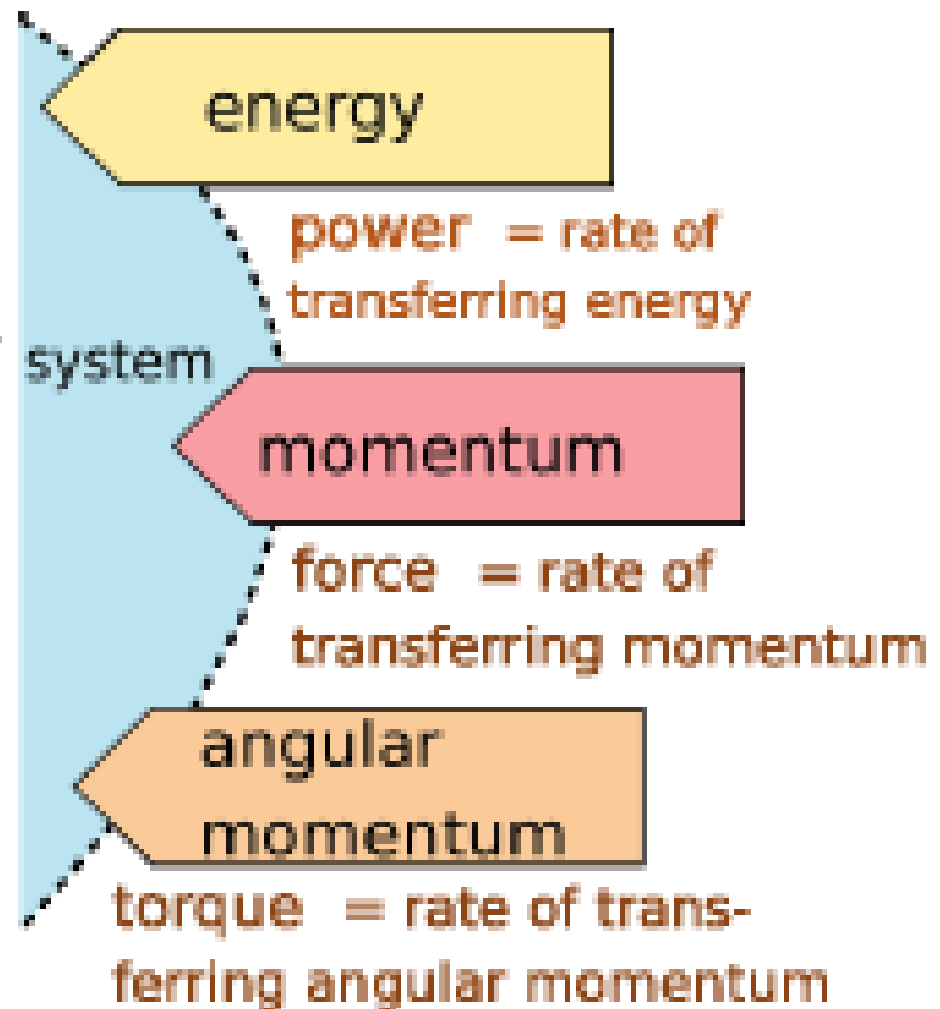
- Energia avaldusvormid ja jäävus
- Energia, töö ja võimsuse
- Energia ja impulsi vahekord
- Jõud ja energia
- Jõu kolm definitsiooni
- Potentsiaalne energia ja potentsiaal
- Millistest komponentidest koosneb liitsüsteemide energia?
- Millel põhineb tuumaenergeetika?
- Entroopia mõiste
- Vaba energia
- Termodünaamilise tasakaalu mõiste ja tema erinevus mehaanilisest tasakaalust
- Energia tootmine ja tarbimine

Võtame kokku

	force	energy	power
conceptual definition	A force is an interaction between two objects that causes a push or a pull. A force can be defined as anything that is capable of changing an object's state of motion.	Heating an object, making it move faster, or increasing its distance from another object that is attracting it are all examples of things that would require fuel or physical effort. All these things can be quantified using a single scale of measurement, and we describe them all as forms of energy.	Power is the rate at which energy is transformed from one form to another or transferred from one object to another.
operational definition	A spring scale can be used to measure force.	If we define a unit of energy as the amount required to heat a certain amount of water by a 1°C, then we can measure any other quantity of energy by transferring it into heat in water and measuring the temperature increase.	Measure the change in the amount of some form of energy possessed by an object, and divide by the amount of time required for the change to occur.
scalar or vector?	vector — has a direction in space which is the direction in which it pulls or pushes	scalar — has no direction in space	scalar — has no direction in space
unit	newtons (N)	joules (J)	watts (W) = joules/s
Can it run out? Does it cost money?	No. I don't have to pay a monthly bill for the meganewtons of force required to hold up my house.	Yes. We pay money for gasoline, electrical energy, batteries, etc., because they contain energy.	More power means you are paying money at a higher rate. A 100-W lightbulb costs a certain number of cents per hour.
Can it be a property of an object?	No. A force is a relationship between two interacting objects. A home-run baseball doesn't "have" force.	Yes. What a home-run baseball has is kinetic energy, not force.	Not really. A 100-W lightbulb doesn't "have" 100 W. 100 J/s is the rate at which it converts electrical energy into light.

Võtame kokku

Võimsus,
jõud,
jõumoment
mõõdavad vastavalt
energia,
impulsi,
impulssmomendi
ülekande kiirust

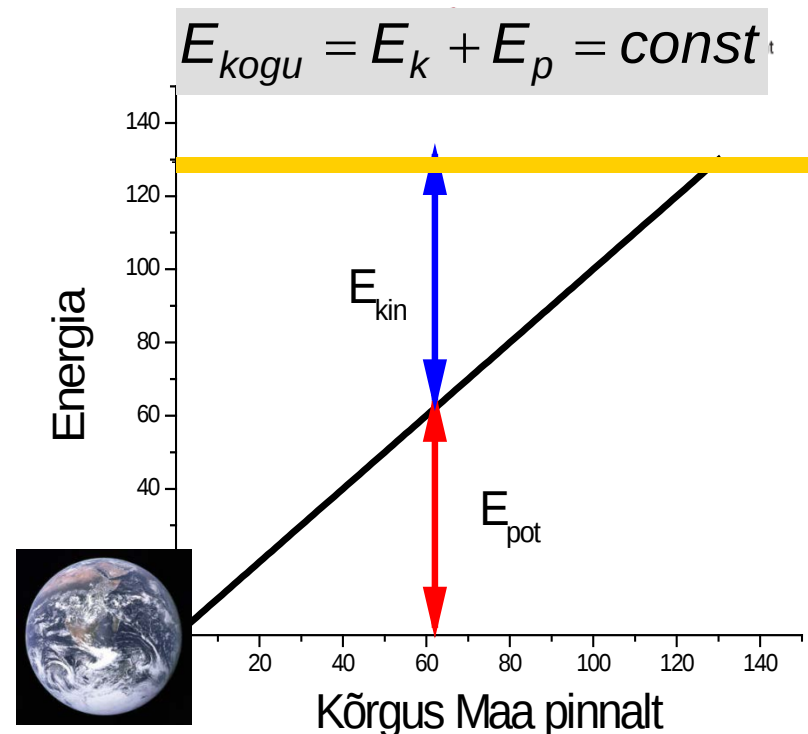
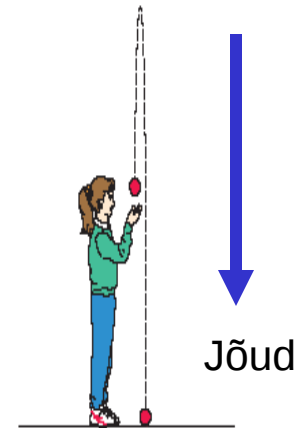


n / Energy, momentum, and angular momentum can be transferred. The rates of transfer are called power, force, and torque.

Kasulik võtte teatud tüüpi ülesannete lahendamiseks

- Teades, et koguenergia jääb kogu aeg konstantseks, saame arvutada kõrguselt h kukkuvat keha kiiruse (õhu takistust arvestamata)

$$\frac{mv^2}{2} = mgh$$
$$v = \sqrt{2gh}$$



Gravitatsiooniline potentsiaalne energia:

Algusraja valik

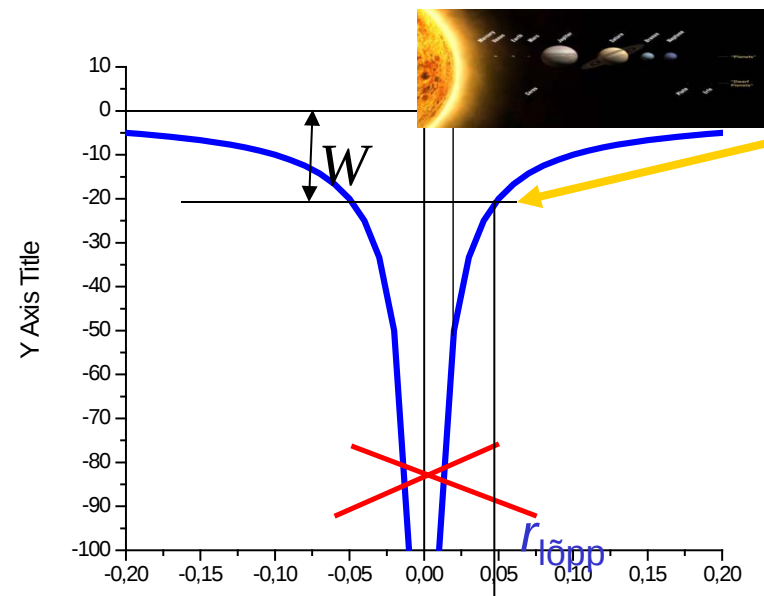
$$dW_G = -Fdr = -\left(-G \frac{mM}{r^2}\right)dr = G \frac{mM}{r^2}dr$$

$$W_G = GmM \int_{r_{\text{algus}}}^{r_{\text{lõpp}}} \frac{dr}{r^2} = GmM \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_l} \right)$$

- Igasugused omavahelised mõjud kaovad partnerite kaugenedes lõpmatusse
- Siis oleks ju mõistlik ka interaktsiooni potentsiaalne energia lõpmatuses nulliks lugeda

$$W_G = GmM \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{r_{\text{lõpp}}} \right) = -GmM \frac{1}{r_{\text{lõpp}}}$$

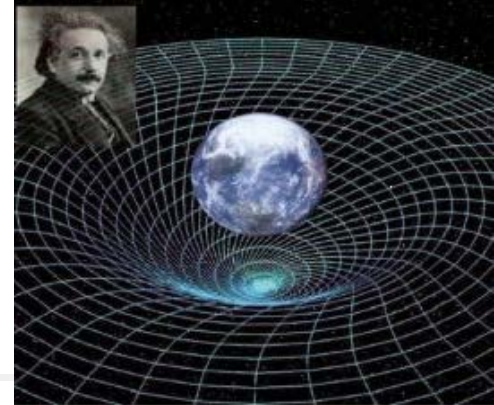
- Valem tähistab tööd, mida tehakse massiga m keha toomisel lõpmatuses kaugusele $r_{\text{lõpp}}$
- Töö on **negatiivne**, sest energia seejuures **vabaneb**!



Selle algusraja valik võimaldab rääkida positiivsest ja negatiivsest energiast!
Ei oma seost tumeda energiaga!

NB! Tõmbuvate kehade potentsiaalne energia on negatiivne, tõukuvatel positiivne!

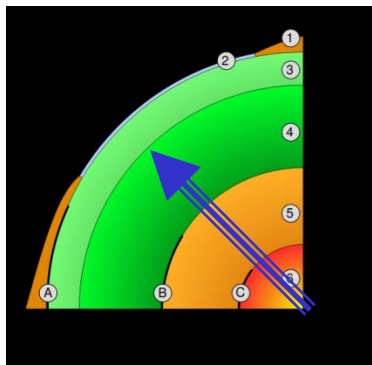
Me elame Maa massist tingitud potentsiaaliaugu (lehtri) põhjas



Üldjuhul : $E_G = -mG \frac{M}{r}$; $F = -mG \frac{M}{r^2}$

Maalähedases ruumis : $E_G \approx mgh$; $F \approx mg$

- Ei kehti raadiustel, mis asuvad **maapinnast allpool**

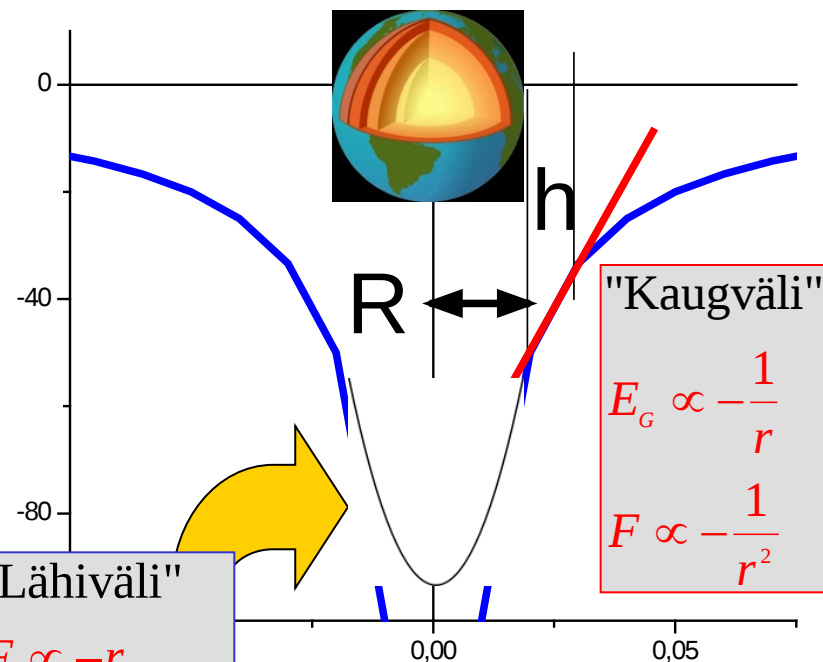


$$F(r) = -G \frac{mM(r)}{r^2}$$

$$M(r) = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$F \propto -r$$

Potentsiaalne energia



"Lähiväli"

$$F \propto -r$$

$$dE_G = -Fdr$$

$$E_G \propto \frac{1}{2} r^2$$

"Kaugväli"

$$E_G \propto -\frac{1}{r}$$

$$F \propto -\frac{1}{r^2}$$

Kaugus tsentrist

NB! Parabool, nagu tasakaaluasendile iseloomulik

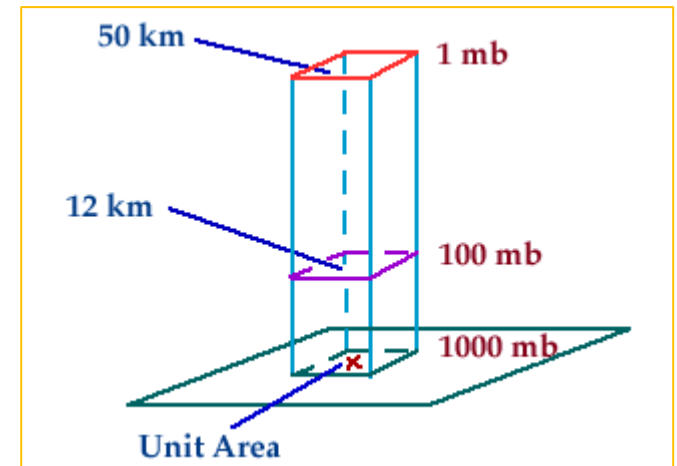
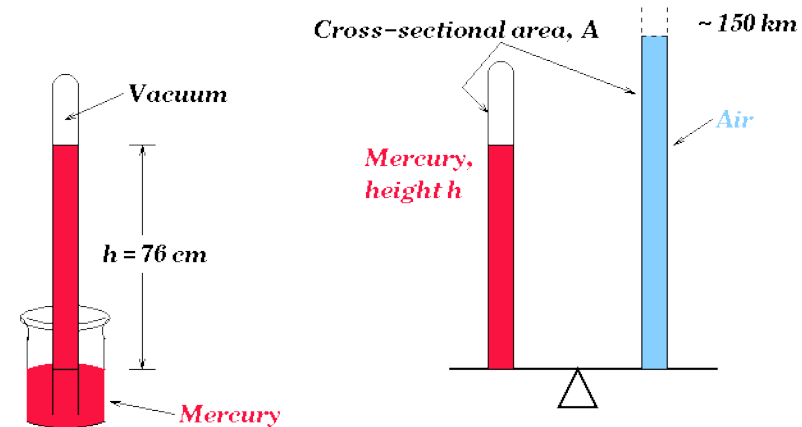
Kuidas liigub läbi Maa pooluste puuritud auku visatud õun (õhutakistust arvestamata)?

Rõhk mõõdab energia tihedust

- Rõhk on ühikulisele pinnale mõjuv jõud, $P=F/A$
 - Ühik: $1 \text{ Pa}=1\text{N/m}^2$
 - $1 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1\text{bar}$
- Rõhku võib samuti defineerida kui energia tihedust (energia hulka ruumalaühiku kohta)
 - Kõrgrõhkkond
 - madalrõhkkond

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot l}{A \cdot l} = \frac{W}{V} \left[\frac{\text{Energia}}{\text{Ruumala}} \right]$$

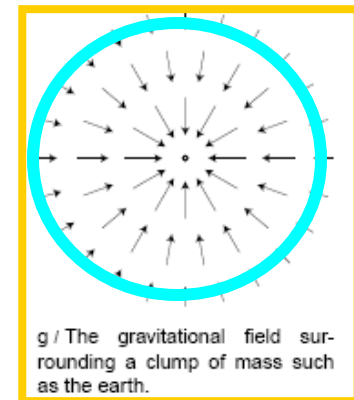
Atmosfääri rõhk





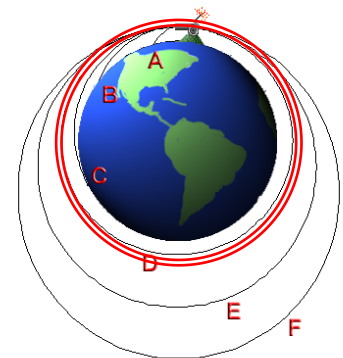
Ekvipotentsiaalpinna

- Liikumine ekvipotentsiaalpinna (samakõrgusjoonel) risti gravitatsioonivälja ja/või elektrivälja jõujoonetega ei kuluta energiat (samuti ei tehta sellisel liikumisel tööd)
- Selline liikumine võib hõõrdumise puudumisel järelkult kesta igavesti
- Orbitaalliikumisel gravitatsiooniväljas me räägime siis **vabast langemisest**
 - Nt Kuu/kosmoselaev tiirleb/langeb vabalt risti Maa gravitatsioonivälja jõujoontega



Orbiidil püsimise tingimus:

$$mg = m \frac{v^2}{R}$$



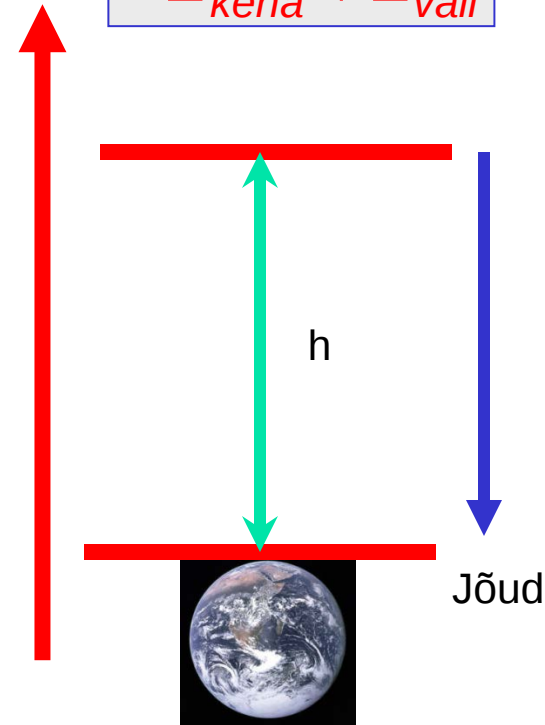
Keha asukohast Maa raskusväljas sõltuv potentsiaalne energia

- Arvutame, kui palju tööd tuleb teha massi m tõstmiseks kõrgusele $s=h$ ületades raskusjõu (mg) mõju:

$$E_p = Fs = mgh$$

- Sõna “tõstmiseks” ei tohi otseselt mõista. Tõstjat kui sellist antud süsteemis ei ole
- On Maa gravitatsiooni poolt tekitatud jõu väli ja (proovi)keha selles väljas
- Ja vaid selle (isoleeritud) süsteemi kohta kehtib energia jäävuse seadus
- Avatud süsteemis on võimalikud teised protsessi osalised, mis põhjustavad kadusid (nt soojus)

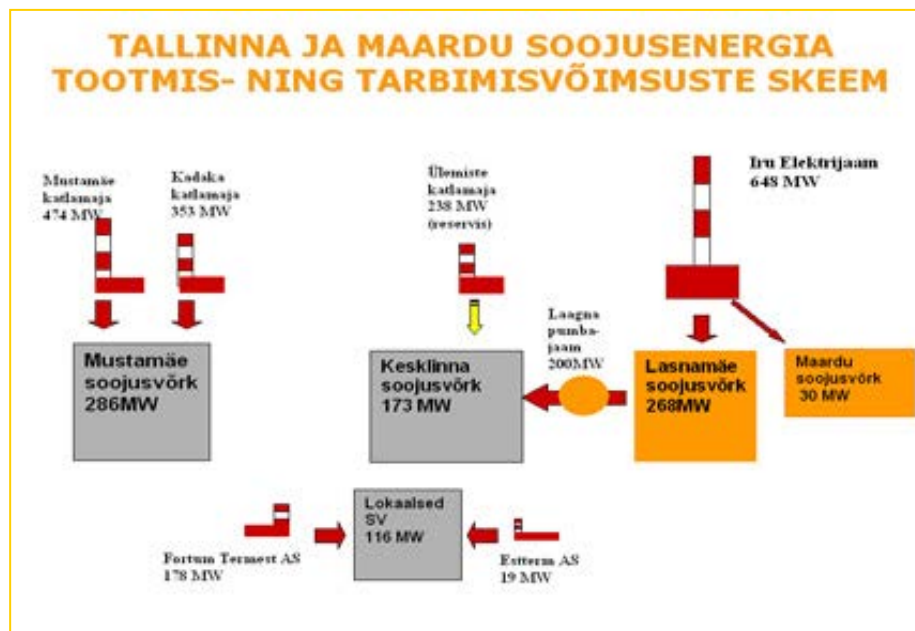
$$E_{kogu} = \text{const}$$
$$= E_{keha} + E_{väli}$$



Kui palju maksab 1 kWh (3.6 MJ) energiat

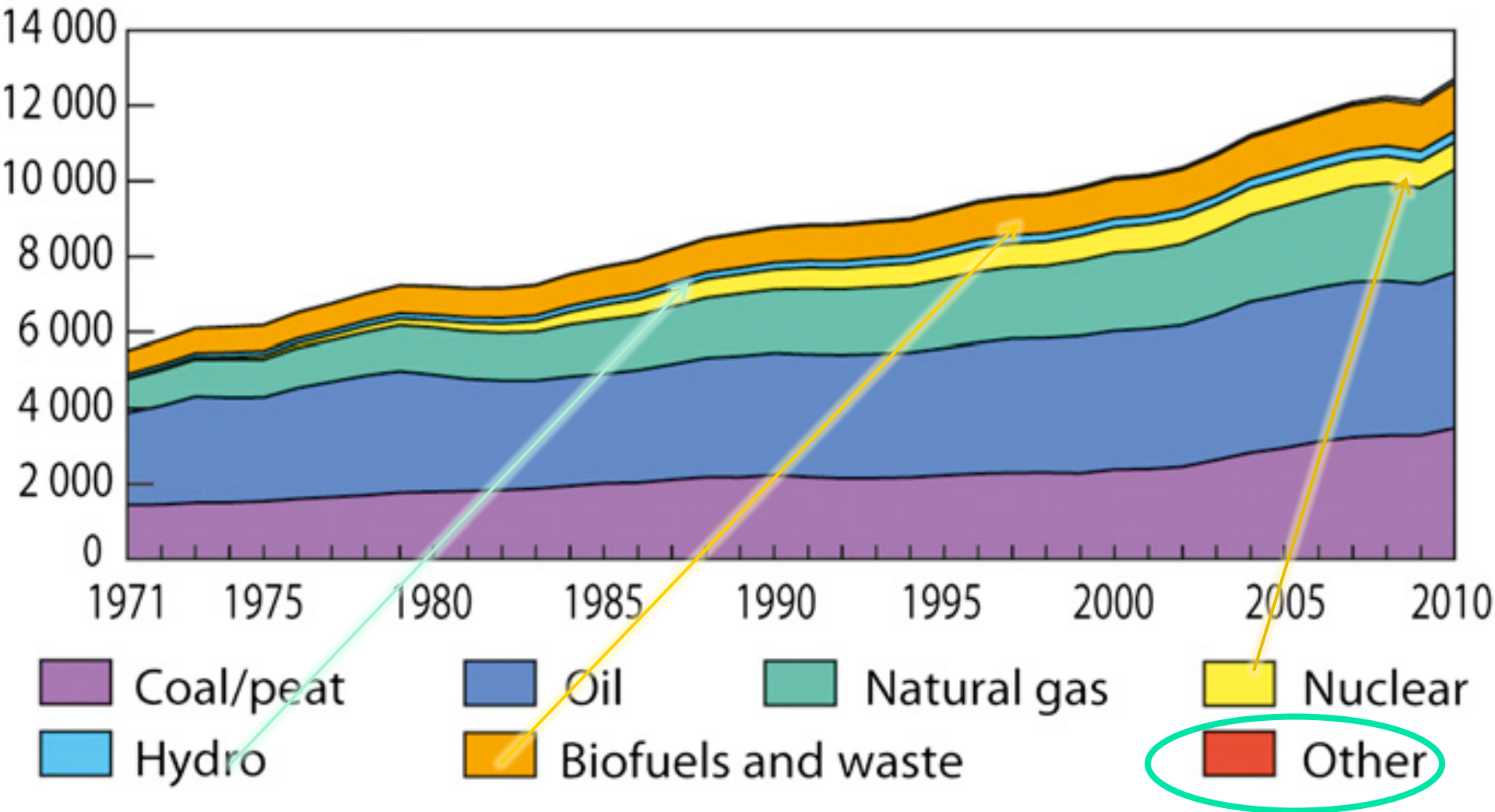


- Väga jämedalt:
0.15 EUR/kWh (sellest
elektri enda hind 1/3)



Vrd kvalitatiivselt elektri ja toidu hinda, lähtudes meie igapäevasest energiavajadusest: 3 kWh
Mis maksab rohkem, elekter või toit?

World total primary energy supply from 1971 to 2010 by fuel (Mtoe)

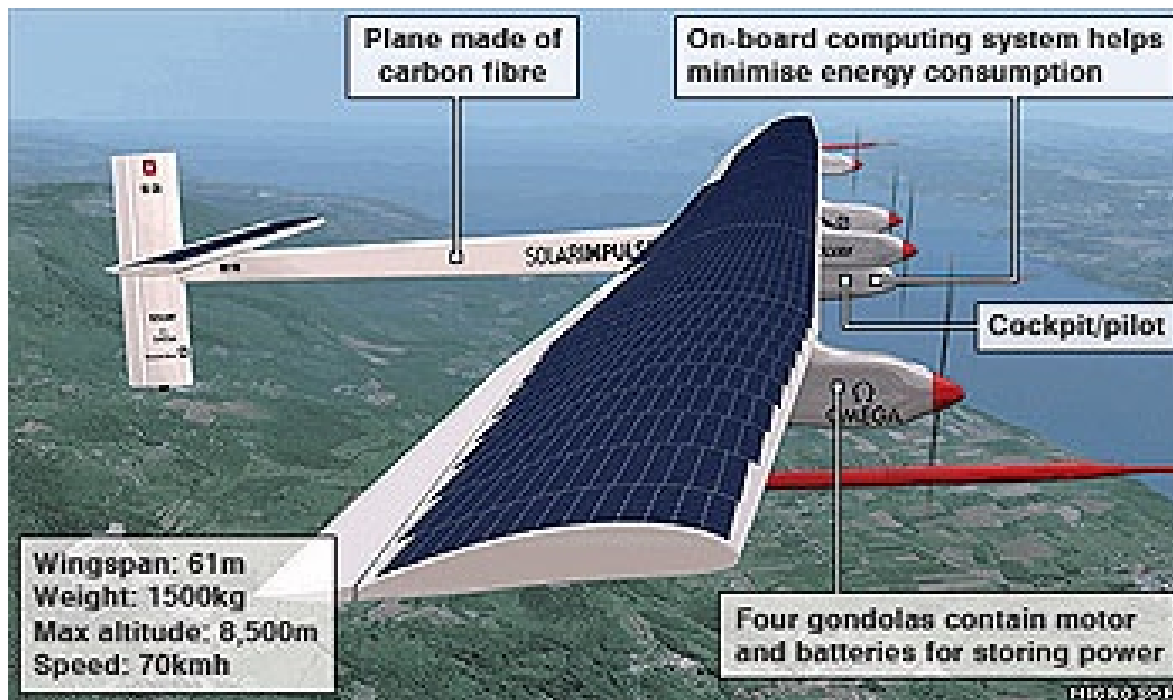
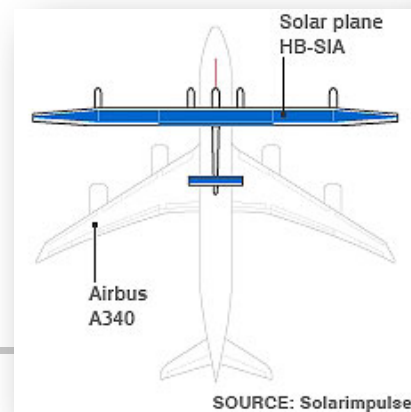


The World's Largest Solar Energy Powered Sport Stadium



1MW peak power, completed 2009, Kaohsiung, Taiwan (Courtesy Toyo Ito Architect)

Päikeselennuk



Swiss adventurer Dr. Bertrand Piccard has unveiled a prototype of the solar-powered plane to fly around the world. The airplane is designed to fly both day and night without the need for fuel.

Edukas
ümbermaailmareis
leidis aset 2015

Veel samm edasi: Hyundai fotosünteesiv linnaauto



~2020

DYESOL



- Dye Solar Cell technology is a **biomimetic nanotechnology that emulates the natural process of photosynthesis**.

Using a layer of titania, electrolyte and ruthenium dye sandwiched between glass, DSC technology generates electricity when light striking the dye activates electrons which are absorbed by the titania to become an electric current.

Organics based solar cells

Advantages

- Cost-effective material
- High optical absorption coefficient of organic molecules
- Flexible in terms of chemical/molecular engineering
- Physically flexible
 - Appealing for design
 - Large area
 - Lightweight

Disadvantages (so far) compared with inorganic PV

- Efficiency
- Stability
- Strength



Uued võimalused: Luministseeruvad päikesepaneelid

