Linnulennuline ülevaade kursusest

- Sissejuhatus
- Matemaatiline põhivara
- Liikumine
- Energia ja entroopia
- Elektromagnetism ja optika
- Põhiteadmisi kvantfüüsikast
- Molekulid aatomitest
- Lausaine
- Termodünaamika alused
- Bioenergeetika alused
  - Biosfääri ja raku energiaallikad
  - Elu kui iseorganiseeruv protsess
  - Transpordinähtused

- Antud kursuse eesmärgiks on anda ettekujutus molekulaarse (sh bioloogilise) aine ehitusest ja funktsioneerimise üldistest seaduspärasustest
- Bioloogilise füüsika sügavam eesmärk on uurida füüsika põhipostulaatide kehtivust ja asjakohasust bioloogiliste küsimuste lahendamisel

Biosfäär

- Biosfäär on Maa ja teda ümbritseva atmosfääri elu sisaldav kiht sh
  - õhk
  - pinnas
  - vesi,

  mida asustavad organismid

- Elu põhineb süsiniku keemial ja süsinikku sisaldavate ainete vahelistel reaktsioonidel
- Iga kuupmeeter biomassi sisaldab ~3.7 kg süsinikku
  - Kokku ~1900 Gtonni

Eestist leiti 2013. a maailma ühed vanimad taimekivistised

- Esimesed taimed tulid merest maismaale arvatavasti 500 miljonit aastat tagasi.
- Jõgevamaa Kalana lubjakivikarjäärist leitud taimefossiil on dateeritud umbes 430 miljoni aasta vanuseks.
- Seega on tegu Eestis kõige vanemate palja silmaga nähtavate maismaataimede jäänustega, aga ka maailma ühtede vanimate taimekivististega.

Bioenergeetika

- Teadus rakkude energiavahetusest ning sellega seotud süsteemidest

Loe „Horisondist“

- Freiberg: Kõige tähtsam energeetika Horisont 2005 (vt lisa)
- Palumaa: Elu alus. Energia ja energeetika Horisont 1/2012
- Käämbre, Varikmaa: Energia, elu ja tervis: süsteemibioloogiast, bioenergeetikast ja biomeditsiinist, Horisont 1/2013

Bioenergeetika alused

Ilya Prigogine
1917 Venemaa–2003 Belgia

- Eluks on vajalik aine ja energia pidev transport ehk suunatud liikumine (vrd töö) läbi biosfääri, konkreetselt läbi bioloogilise aine
- Füüsikalise keemia seisukohalt ei toeta isoleeritud ja samuti suletud süsteemid elu
- Elussüsteemid on avatud dissipatiivsed süsteemid (termin Prigogin'lt), mis toodavad energiat hajutades intensiivselt entroopiat

Objekt	Keskmine dissipatsioon, W/kg
Inimene	1,4
Päike	0,00023

- Biifsteegiportsu kaal - 0,3 kg
- Veise väljaheidete kogus selle kaalu kohta - 16 kg
  - *Allikas: WorldWatch*

© Vedru, Pruulmann

- Jääkidega seoses räägitakse inimkonna ökoloogilisest jalajäljest
- See mõõdab, kui kiiresti me tarbime võrreldes looduse võimega jääke absorbeerida ja/või uusi ressursse toota

Maalähedane ruum kipub meile juba kitsaks jääma

„Kosmoseprügi“

Laborikatsetus, kus uuritakse, mis juhtub, kui kosmiline praht põrkab vastu maa orbiidil tiirlevat kosmoselaeva (füüsika.ee).

- Esimene „liiklusõnnetus“ kosmoses leidis aset juba 12.02.2009. a, kui põrkasid kokku USA ja Venemaa satelliidid (Reuters)

Kosmosesüstik Atlantis Päikese foonil (Scanpix)

Human Welfare and Ecological Footprints compared

Eesti

$42000 km^2 \cdot 100$

$= 4.2 \cdot 10^6\ ha$

$4.2 \cdot 10^6 : 6$

$= 700000$

Nii palju inimesi võiks praeguse tarbimise alusel jätkusuutlikult Eestis elada

Source: Global Footprint Network (2006); United Nations Development Programme (2006).]

Külli Sparre „Pääste-operatsioon.“
Töö, mis võitis 2014. a Sony ülemaailmse fotokonkursi kontseptuaalse foto kategoorias

Euroopa aastal 2010

- Tarbib kaks korda enam, kui ta maa ja meri toota suudab
- Viimase mõnesaja aastaga on inimene kiirendanud liikide väljasuremise kiirust tuhat korda, võrreldes taustkiirusega, mis on Maa ajaloos olnud tavapärane
- Kuni 25 protsenti Euroopa loomaliikidest, sealhulgas imetajad, kahepaiksed, roomajad, linnud ja liblikad, on väljasuremise ohus
- Liikidest 30 protsenti ähvardab kadumine ülekasutamise tõttu. Põhiline mure on elupaikade kadu, mille tõttu on ohustatud 70 protsenti liikidest
- Põllumaade lindudest on kadunud 1990. ja 2007. aasta vahel 25 protsenti
- Kõige enam ähvardab elurikkust kalastamine ja seejärel põllumajandus

OECD raport 2017

- Eestis tuleb 70 protsenti energiast põlevkivist.
- 2014. aastal oli põlevkivitööstuse CO2-heitkogus sisemajanduse koguprodukti (SKP) ühiku kohta 533 tonni. OECD keskmine oli 226 tonni.

Carbon Dioxide Continues to Reach New Highs
It's Forecast to Hit 410 PPM
2017
2016
2015
2014
2013
2012
2011
408 PPM
404 PPM
400 PPM
396 PPM
392 PPM
388 PPM
LEVEL OF NO RETURN
JAN
MAR
MAY
JUL
SEP
NOV
Source: Greenhouse Gas Reference Network
CLIMATE CENTRAL

Majandus ei saa eirata füüsikaseadusi!

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

- Td I seadus:
  - Mittemillestki 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 madala-entroopseid (tihti ka toksilisi) jääke, mida looduslikud ökosüsteemid ei saa enam kasutada.
- Selles seisneb põhimõtteline vastuolu inimtekkelise majanduse ja looduslike ökosüsteemide vahel.

Biosfääri energiaallikad

- Biosfääri energeetikaga tegeleb teadus nimega bioenergeetika (1941)
- Biosfääri energiaallikate (va radioaktiivsed tuumkütused) ühiseks lätteks on Päike
- Fotosüntees on see protsess, mille abil valgusenergia muundatakse keemiliste sidemete energiaks bioloogilises aines

Sõltub aastaajast

Maa energiabilanss

- Päikeseenergia võimsus aasta keskmisena Maa pinna iga ruutmeetri kohta on 342 W/m2
  - Kokku 4.4 x 10^{16} W
- Võrreldav 440 miljoni 100 MW elektrijaama võimsusega
  - ~1 jaam iga 16-17 inimese kohta
  - Vrd Eesti Soojuselektrijaam: ~1.7 GW (~1/10000 inimkonna tänasest vajadusest)
- Energia J-des saame kui korrutame võimsuse sekundite arvuga
  - 4.4 x 10^{16} x31.5 x 10^{6} =1.4 x 10^{24} J/a
  - inimkonna aastane energiakulu: ~5*10^{20} J

Miks Maa üle ei kuumene ega lõpuks ära ei põle/aura?

Maa albeedo

- Maa igale ruutmeeterile langevast 342 W päikeseenergias umbes kolmandik peegeldub kohe tagasi maailmaruumi
- Öeldakse, et Maa albeedo (peegeldumisvõime) on ~0.3
- Albeedo sõltub mh inimtekkelistest aerosoolidest
- Maa pinnale jõuab seega ~235 W
- Suurema osa sellest energiast saab ekvaatorilähedane piirkond

Inimkonna vajaduse kõrgekvaliteetse energia järgi võib Päike kergesti katta

- Päikeseenergia võimsus aasta keskmisena ekvaatoril on ~300 W/m2
- Kokku: $3.9*10^{16}$ W
- Inimkonna aastane vajadus: ~$18*10^{12}$ W= 18 TW

EARTH'S ENERGY BUDGET =0

Energia on jääv, kuid tema kvaliteet mitte!

Lahkuva kiirguse summa: 107+235=342

Lahkuva kiirguse kvaliteet on saabuvast kiirgusest ~20 x madalam.

Me tarbime energia kvaliteeti, mitte energiat!

Kasvuhoone efekti olemus

- Maa atmosfääris on gaase, mis ei neela lühilainelist päikesekiirgust, aga neelavad rohkem või vähem Maa soojuskiirgust
- Need nn kasvuhoonegaasid kiirgavad osa nende poolt neelatud Maa soojuskiirguse energiast maapinnale tagasi
- Niisugune kiirgusenergia ringkäik tõstab maapinna tasakaalulist temperatuuri hinnanguliselt umbes 30°
- Atmosfääri selektiivsest läbilaskvusest tingitud maapinna ja maalähedase õhukihi temperatuuri tõusu nimetatakse kasvuhooneefektiks

Voodi
Henri de Toulouse-Lautrec

Kasvuhoone efekti olemus

Efekti võimalikku olemasolu kahtlustas Joseph Fourier nii ammu kui 1824. Kvantitatiivselt hakkas seda uurima Arrhenius 1896. a

Globaalne soojenemine termodünaamika II seaduse kontekstis

- Igat füüsikalist protsessi, mis teeb tööd saab vaadelda soojusmasinana
- Soojusmasinad eraldavad soojust madalamal temperatuuril olevasse keskkonda ja seda efektiivsemalt, mida suurem on masina ja keskkonna temperatuuride vahe
- Globaalsel soojenemisel on globaalne mõju: Keskkonna temperatuuri tõustes väheneb kõikide selles keskkonnas olevate soojusmasinate kasutegur!
  - Siin on siiski üks aga: Maa ei ole tasakaaluline süsteem ja, rangelt võttes, ei ole tema T määratud

Fotosüntees muundab valgusenergia keemiliseks energiaks

- Fotosünteesis tarbitakse/hajutatakse Maa pinnale jõudvast energiast vaid ~0,025%
- Ülejäänud osa neeldub ookeanides ja maapinnas muutudes peaaegu kohe soojuseks, st madala korra/suure entroopiaga energiaks
- Aga see soojus on elusorganismidele väga tähtis
  - Vastasel korral oleks Maa üks väga igav koht -
    külm jääga kaetud kera

Mis on fotosüntees?

- Fotosüntees on üks neist mõistetest, mis on suurem kui ta ise. Täpselt nagu Joosep Tootsi maakera, mille sees pidi veel üks, suurem, maakera olema
- Nimi “foto" ütleb, et see protsess on seotud valgusega ja "süntees" tähendab millegi valmistamist
  Nii ongi sõna tähendus kokku "valguse abil midagi valmistama"
- Mida siis valguse abil sünteesitakse?
  Sünteesitakse meie põhilisi toitaineid – süsivesikuid, valke, rasvasid
- Fotosüntees on seega taimede, vetikate ja mõnede bakterite (reeglina) rohelistes osades toimuv toitainete sünteesimise protsess
- Kogu elu alus Maal, sest ilma toitainetes salvestunud energiata pole elu

Jan Ingenhousz (ka Ingen-Housz)
1730 –1799

Mihhail Tswett
1872-1919

Fotosünteesi ja klorofülli avastamine

- Tänase teaduse andmetel 2.2-2.4 miljardit a vana fotosüntees avastati rohkem kui 230 a tagas
- Avastaja oli keerulise nimega hollandi bioloog ja keemik Jan Ingen-Housz
  - Sama mees avastas ka Browni liikumise, 42 a enne Browni!
- 1779. a avastas ta, et taimede rohelised osad eraldavad valguse käes hapnikku, mille eritumine pimedas lakkab
- Samuti leidis ta, et pimedas eraldavad taimed CO_2 (hingamine)

Klorofüllist

- Tartu Ülikooli prof. Mihhail Tswett oli esimesi, kes uuris rohelistele taimedele värvi andvaid pigmente
- Selle käigus leiutas ta kromatograafia (1901), kui efektiivse ainete lahutamise meetodi
- Tema 1910. a Varssavi Ülikoolis kaitstud doktoritöö kandis pealkirja “Taime- ja loomariigi kromofüllid” (ei ole kirjaviga!)
- 1913. a teeb R. Willstätter kindlaks klorofülli struktuuri , mida hinnatakse Nobeli preemiaga

Taimede fotosünteesiaparaat

Valgustundlik agent: klorofüll

Mis on fotosüntees?

- Fotosünteesi summaarne võrrand on petlikult lihtne.
- Selle vasakul poolel on süsihappegaas ning vesi, paremal pool aga glükoos ja hapnik.
- Valgust on tarvis, et reaktsiooni paremale poole kallutada
- Mis vahepeal toimub, seda uuritakse intensiivselt siiani
  - Fotosünteesi kvantaspektidest lugege lisades

Kõrge energiasisaldusega toitaine, mida tarbivad nii inimesed kui loomad

Bakterite fotosünteesiaparaat ja selle funktsioneerimine

Reaktsioonitsentri (keskel) ja teda ümbritsevate antennikompleksid (LH1) koosluS fotosünteetilises kaksikkiplid-membraanis koos tüüpiliste energia (laineline nool) ja elektroni (pidev nool) siirdeaegadega pikosekundites. Ülejäänud tähised märgivad mitmeid antenni ja reaktsioonitsentri koostises olevaid ning siirdeprotsessides osalevaid molekule.

Fotosünteesi süvaprotsesside uurimine biofüüsika ja taimefüsioloogia õppetoolis

2009

Igikestev keskkonnaeksperiment:

Tradeskantsia perekonda kuuluv rohttaim, mida viimati kasteti 1972. a

- Pudeli põhjas oli alguses ka komposti, millesse pandi seeme kasvama ja kallati vett peale, pudel suleti ja asetati päikeselisesse nurka, kus fotosünteesi ime on sellest peale jätkunud.
- Kastetud on seda taime seejärel vaid korra ja nüüd juba 42 aastat on ta suutnud toime tulla pelgalt ise tekitatud niiskuse ja õhuga.
- Fotosünteesi käigus kogub taim kogu vajaliku energia päikesevalgusest, tootes niiskust ja hapnikku. Niiskus koguneb klaasile ja sajab taimele tagasi, lehed, mis taimelt pudenevad, kõdunevad aga pudeli põhjas ja tekitavad süsihappegaasi, mis vajalik fotosünteesiks ja taime toitmiseks.

Kas tegemist on isoleeritud, avatud, või suletud termodünaamilise süsteemiga? Palun põhjendage oma arvamust.

Toit

- Toit on kõrge toiteväärtusega (loe: kõrge keemilise potentsiaaliga) aine
- Imetajate (sh inimeste) toidu põhikomponentideks on suhkur, rasv ja valgud (+vesi muidugi)
- Toidu põhielemendid on seega *C, H, O*

Toiduainete ja kütuste kütteväärtusi

	Energiasisaldus (kJ/kg)
Rasvad	40 000
Valgud	24 000
Suhkur	17 000
Leib	9000
Liha	7500
Piim	3000
Aed- ja juurviljad	600–2000
Vesinik	143 000
Maagaas	55 000
Kivisüsi	33 000
Etüülalkohol	30 000

Võrdluseks

Vee aurustumissoojus	2257
Vee sulamisissoojus	334
Aine seisumass	2.15×10^{13}

Tuumakütuse põlemisel eraldub ~5 miljonit korda rohkem energiat, kui söe põlemisel, termotuumareaktsioonis veel 10 x enam.

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

~10 MJ

- Koguvõimsus 100 W, selles aju 12 W

Mõtlemine on sedavõrd raske töö, et inimene teeb kõik võimaliku selle vältimiseks (Avo-Rein Tereping)

Bensiin: *32 MJ/liiter*
42.4 MJ/kg
~10 kWh elektrit

Metabolism

- Toidus keemiliste sidemete potentsiaalse energia vormis akumuleerunud energia vabaneb kahte tüüpi metaboolsetes reaktsioonides
  - aeroobsel hapnikuga reageerimisel ehk põlemisel

$$toit + O_2 \Rightarrow H_2O + CO_2 + energia$$

  - anaeroobsel fermentatiivsel lõhustumisel (nt käärimine)

- Aeroobse ja anaeroobse metabolismiga kaasnevad redoksreaktsioonid

Inimese metabolism

Toitained

KATABOLISM e DISSIMILATSIOON

Soojus

Jääained

Sünteesiproduktid

ADP

Keemiline energia

ATP

Laguproduktid

ANABOLISM e ASSIMILATSIOON

ATP

Keemiline energia

ADP

Soojus

Rakuhingamine

© K. Mäekask

Rakk

Drawing of the structure of cork as it appeared under the microscope to Robert Hooke (of Hooke's law) from Micrographia which is the origin of the word "cell" being used to describe the smallest unit of a living organism

- Metaboolsed reaktsioonid leiavad aset rakkudes
- Rakk on väikseim elusa aine ühik
- Rakk näib molekule tihkelt täistopitud vaheseintega anumana
- Molekulidevaheline kaugus rakus: 1-2 nm
- Rakud ei sisalda vabu elektrone

Raku energiseerimine

- Seisneb ioonide ja molekulide pumpamises läbi rakumembraani vastu nende kontsentratsiooni gradienti suurema kontsentratsiooni suunas
- Selleks on vajalik väline energiaallikas
  - Nt: Na^+/K^+-ATPase või Na^+/K^+ pump

Raku energiaallikad

- Fotosüntees/toit
- Energia salvestatakse sünteesides energiarikkaid molekule
  - Lühiajalised: ATP, NADPH jt
  - Pikaajalised: süsivesikud, rasvad, valgud
- Inimorganismis on pidevalt töös ~0.1 mooli ATP (mooli mass ~507 g/mol)
- ATP hüdrolüüsil ehk vee toimel lagunemisel ADP-ks vabaneb ~30-50 kJ/mol energiat
- Umbes pool meie toidust sisalduvast energiast kulub ATP sünteesiks ADP-st (~5000 kJ)
- Ööpäevase energia katmiseks on seega vaja sünteesida >100 mooli ATP-d ehk ~0.001 mool igas sekundis.
- Enamik nendest sünteesitakse mitokondri membraanidel ensüümi ATPase vahendusel

Väljendage see ühikutes ATP molekuli/s

ATPase: struktuur ja töö

Oster/Wang
Figure 1

©AB Rubin

Rakud ei saa olla ei liiga väikesed ega liiga suured

Escherichia coli koloonia

- Rakud peavad sisaldama piisavalt suure arvu molekule, sest reaktsiooni kiirus r~kC (C on kontsentratsioon)
- Lisaks peab rakk metaboolsete protsesside kindlustamiseks sisaldama vähemalt 120 valku, tema genoom seega vähemalt 120 geeni (*the minimum requirement for life*)
  - Väikseim leitud genoom sisaldab 450 geeni
  - *E. coli* 4000 geeni
  - Inimene: ~30000 geeni (~3.2 10^9 nukleotiidipaari)

- Rakud peavad olema väikesed, et diffusioon suudaks neid ainetega piisavalt kiiresti varustada
  - Kasulik strateegia: raku vaheseintega osadeks jagamine

$$t = \frac{x^2}{4D}$$

- Teiseks kasvab raku mõõtmete kahanedes tema pinna ja ruumala suhe, mis soodustab ainevahetust

$$\frac{A}{V} \propto \frac{1}{L}$$

Mis on elu?

- Paraku, me ei tea seda veel
- Lohutuseks tuletame meelde Kurt Gödeli teoreemi matemaatika/teooria paratamatu ebatäielikkuse kohta
  - Mistahes formaalses süsteemis jääb alati probleeme, mida ei saa süsteemi aktsioomide põhjal ei tõestada ega ka ümber lükata
- Kindel on üksnes see, et elusorganism ei ole mehaaniline masin, nt kell
- Arvuti ja tehisintellekti suhtes me enam nii kindlad olla ei saa
- Ehkki me ei tea, mis elu on, saame tema erinevaid aspekte kirjeldada

Elu füüsika vaatepunktist

- Elu on makroskoopiline (kõrgetasemeline) nähtus, mis ei allu mikroskoopilisel (aatomite, molekulide) tasemel lahtimõtestamisele
- Elu kui kõrgelt organiseeritud (madala entroopiaga) mateeria eksisteerimise vorm on võimalik üksnes tänu biosfääri avatusele
- Iga protsess, mis seisab vastu juhuslikele jõududele desorganiseerida asju ning on võimeline struktuure tekitama ja/või säilitama, nõuab energiat
- Kõik elusorganismid tarbivad/lagundavad pidevalt suures koguses toitaineid, suurendades seeläbi maailma korratust palju enam kui nad ise korda loovad

Printed in Great Britain at the University Press, Cambridge
(Brooke Crutchley, University Printer)
and published by the Cambridge University Press
(Cambridge, and Bentley House, London)
Agents for Canada and India: Macmillan
Copyrighted in the United States of America by the
Macmillan Company

WHAT IS LIFE?

The Physical Aspect of the Living Cell

BY

ERWIN SCHRÖDINGER

SENIOR PROFESSOR AT THE DUBLIN INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

Based on Lectures delivered under the auspices of the Institute at Trinity College, Dublin, in February 1943

Zentral-Bibliothek
4339

CAMBRIDGE
AT THE UNIVERSITY PRESS
1948

Elu kui mittetasakaaluline statsionaarne olek

- Elu on mittetasakaaluline statsionaarne olek
- Paari kuuga vahetuvad välja peaaegu kõik meie keharakud – me ei ole sõna otseses mõttes enam need, kes enne
- Jõgi voolab püsiva kõrguste vahe tõttu
  Vanad kreeklased ütlesid õigesti, et kaks korda pole võimalik ühte ja sama jõkke astuda

Elu kui iseorganiseeruv protsess

Ilya Prigogine (Nobeli keemiapreemia 1977) jt:

- Konstantse energia läbivooga süsteemid võivad stabiliseeruda (iseorganiseeruda) olekutes, mis on nii aine jaotuse kui ka keemilise koostise mõttes väga kaugel tasakaalulisest olukorrast suletud süsteemides
- Iseorganiseerumiseni viib vaid piisavalt kõrge kvaliteediga (st madala entroopiaga) ja piisavalt kiiresti voolav energia
- Elu toetab vaid vaba energia!
- Läbitöötatud (oma kvaliteedi kaotanud) energia tuleb süsteemist kiiresti välja juhtida
  - Isoleeritud süsteemid ei ole võimelised iseorganiseeruma.
  - Nad saavad vaid manduda, sest korrastamata aatomite ruumilisi paigutusi (konfiguratsioone) on (peaaegu) lõpmata arv palju rohkem kui korrastatud (huvitavaid/mõtestatud) konfiguratsioone

Keemia on füüsikat ja bioloogiat sildav teadus: Elu keemiku pilgu läbi

- Autokatalüütiliste süsteemide keemilise teooria lähtudes tõestatakse selles raamatus, et darvinismis kui tsentraalses bioloogilises paradigmas avalduvad loomulikud füsiko-keemilised jõud ja protsessid: pürimine suurema stabiilsuse poole, mis on saavutatav süsteemi keerukuse kasvu ja olekute (kineetilise) valiku abil
- Komplekssus ei ole elu põhjus ega olemus, vaid selle tulemus

Most stable survive (R. Dawkins 1989)

- Replikatiivsed autokatalüütilised süsteemid (nagu kõik teisedki) evolutsioneeruvad ebastabiilsematest vormidest stabiilsemate vormide poole
- Elusaine on mittetasakaaluline (kineetiliselt stabiilse) ja rakk-võrgustunud (*cellularly networked*) aine vorm
- Kompleks-süsteemid on üldjuhul kineetiliselt stabiilsemad kui nende komponendid
- See võib olla jälgitava universumi järjest suureneva keerukuse põhjus

Rakk kui nanotehas: Mida ta toodab?

The dream of every cell is to become two cells
Francois Jacob

- Raku pooldumine on näide avatud süsteemis toimuvast autokatalüütilisest keemilisest protsessist, mida toidab väljast saadud energia/aine
  - Replikatiivse mittetasakaalulise protsessi iseärasus on eksponentsiaalselt kiire produkti kasv
  - Kui replikatsiooni käigus toimub mutatsioon, siis jääb ellu kõige stabiilsem produkt („Darwini evolutsioon“ keemias)

Näited

- Replikatiivse mittetasakaalulise protsessi iseärasus on eksponentsiaalselt kiire produkti kasv
- Siit järgneb, et elu ei saa olla igavene, sest materjal lõpeb lihtsalt otsa
  - Molekuli mass peale 79 replikatsiooni=mooli mass; peale 83 replikatsiooni=Maa mass (~10_{27} g); peale 96 replikatsiooni=universumi mass (~10_{56} g);

- Hiina keisri kimbatus

$$Mitu\ \ viljatera?$$

$$\Omega = 2^{64} - 1 \approx 2 * 10^{19}$$

- Massi kasv replikatiivses protsessis

$$\text{Re}\ plikatiivne\ molekul\ massiga\ 10^{-21}\ g$$

$$\text{Re}\ plikatsiooni\ sagedus\ 1/\min$$

$$Mass\ 5h\ pärast > Universumi\ mass$$

Maailm muutub aina keerulisemaks

Elu maist päritolu eeldades eristatakse bioloogilise evolutsiooni kolme etappi

- Elu Maal on keemilist päritolu
- Orgaanilised molekulid moodustavad bioloogia riistvara ja seda materjali pidi siin piisavalt olema

1. Bioloogiliselt tähtsate kõrg-energeetiliste molekulide (suhkrud, lipiidid, nukleiinhapped, aminohapped) süntees vulkaanilise tegevuse ja atmosfäärielektri toimel. Välistatud ei ole ka nende molekulide kosmiline päritolu (astrobioloogia aine)
2. Nende molekulide spontaanne tihenemine ja kondenseerumine juhusliku järjestusega polümeerideks
3. Stabiilsete bioloogiliste infosüsteemide (ehk biopolümeeride mõtestatud järjestuste) tekkimine

Elu ja informatsioon

- Elu spetsiifika on seotud informatsiooni valdamise ja haldamisega
- Elu replikatiivset keemiat suunavad DNA ja RNA molekulid
- Informatsioon on rakus kodeeritud DNA nukleotiidide järjestusena
- Aatomite juhuslik soojusliikumine põhjustab pidevalt nende järjestuste katkemisi, ohustades sellega raku jätkuvõimet
- Seepärast nukleotiidide järjestusi pidevalt kontrollitakse ning vajadusel ka parandatakse
- Vastavad aatomite spontaansed konfiguratsioonid on ülimalt vähetõenäolised
  - sellega on seotud nn Levinthali paradoks

Inim-DNA muteerumiskiirus

Nature 2009:

- Iga kord, kui inimese DNA kandub üle järgmisse põlvkonda, tekib sellesse 100–200 uut mutatsiooni
- See tähendab ühte mutatsiooni iga 30 miljoni nukleotiidipaari kohta
- Just geenimutatsioonidel põhineb aga kogu elusloodus evolutsioon – osa neid on organismile kasulikud ning looduslik valik soodustab nende kumuleerumist ja edasikandumist

Sünteetilise elu võimalikkus

- In a 1995 *Science* paper, Venter's team sequenced the genome of *Mycoplasma genitalium*, a sexually transmitted microbe with the smallest genome of any known free-living organism, and mapped its 470 genes. By inactivating genes one by one and testing to see whether the bacterium could still function, the group slimmed this list down to 375 genes that seemed essential.

- Tehisintellekt on võitnud inimese juba nii males kui go-s

Science, March 2016: Each cell of JCVI-syn3.0 contains just 473 genes, fewer than any other independent organism.

Võtame kokku

- Elusad süsteemid on
  - iseorganiseerunud
  - mittetasakaalulised süsteemid
  - mida juhivad sümbolitena kodeeritud programmid
  - ja mis on võimelised iseend (ja ka oma programme) reprodutseerima
- NASA 1994:
  - Elu on keemiline süsteem, mis on võimeline Darwini evolutsiooniks

Soovin edu!

Füüsikaline ettekujutus maailmast moodustab kaasajal põhilise osa inimkonna tõelisest kultuurist

Richard Feynman 1962

Läbi raskuste tähtede poole

*Öine vaade Rio de Janeirole (koos (väikese) **osaga** loengute ettevalmistamisel kasutatud raamatutest)*

KKK: Mida eksamil küsitakse? Õpiväljundid: Kursuse läbinud üliõpilane

- Mõistab mateeria kvantolemust ning orienteerub vastavates mõistetes ja terminoloogias;
- Teab, mis on aatomid, molekulid ja lausaine ning oskab kirjeldada nende objektide põhilisi struktuurseid erisusi;
- Tunneb ainete uurimise põhilisi spektroskoopilisi meetodeid;
- Suudab kirjeldada lausaine erinevate faaside omadusi ja üleminekuid faaside vahel.
- Teab termodünaamika seaduseid;
- Oskab lahti mõtestada selliseid termodünaamika mõisteid nagu energia, töö, soojus, temperatuur, entroopia jne.
- Saab aru elu kui iseorganiseeruva protsessi olemusest;
- Teab, mis on raku ja laiemalt biosfääri energiaallikad;
- Oskab kasutada omandatut õppekava järgnevates bioloogiakursustes.

- +füüsika ja matemaatika põhitõed eelmisest aastast

KKK: Milliseid valemeid/arve me peame teadma?

$$E = mc^2$$

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\nu\lambda = c;\ \text{üldjuhul} = \frac{c}{n(\lambda)}$$

Seisumassi omava osakese impulss

$$p = mv$$

Välja impulss

$$p = \frac{E}{c}$$

Läbilaskvus

$$T(\nu) = \frac{I(\nu)}{I_0(\nu)} = 10^{-A(\nu)}$$

Neeldu min e (optiline tihedus)

$$A = \sigma l N_A = \varepsilon l c = \alpha l = -\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$\sigma = 3.82 \cdot 10^{-21}\varepsilon$$

$$pV = nRT$$

Isokooriline ($V = const$) soojusmahtuvus

$$C_V = \frac{Q}{\Delta T}$$

$$c_v = \frac{C_v}{m} = \frac{Q}{\Delta T m}$$

RT toatemperatuuril ($\sim 20\,\mathrm{C}$)

$$RT = 8.315\frac{J}{mol * K} \cdot 293K$$

$$= 2436\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}} \approx 2.44\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{mol}}$$

$$n_i = \frac{N}{Z}e^{-\frac{E_i}{k_B T}} = \frac{N}{Z}\frac{1}{e^{\frac{E_i}{k_B T}}}$$

$$Osa_i = \frac{n_i}{N} = \frac{1}{Z}e^{-\frac{E_i}{k_B T}} = p_i$$

$$Z = \sum_i e^{-\frac{E_i}{k_B T}}$$

$$R = \frac{pV}{nT} = k_B N_A$$

$$= 8.3147\ \frac{J}{K \cdot mol}$$

$$\mathrm{K} = [^\circ\mathrm{C}]\left(\frac{1\,\mathrm{K}}{1\,^\circ\mathrm{C}}\right) + 273.15\,\mathrm{K}$$

KKK: Milliseid valemeid me peame teadma?

$$\mu = \frac{G}{n}$$

$$\mu_{keemiline} = \mu_k^* + RT\ln C$$

$$\mu_{elektrokeemiline} = \mu_{elke}^* + RT\ln C + zF\Psi$$

Siseenergia muut: $dU = Q + W$

soojusena ülekantud energia + tööna ülekantud energia

Tasakaalu tingimus: $\Delta\mu_{in-out} = 0$

$$2.3RT\lg\frac{C_i}{C_o} = zF\underbrace{(\Psi_o - \Psi_i)}_{\Delta\Psi}$$

Nernsti võrrand

$$\Delta\Psi = \frac{2.3RT}{zF}\lg\frac{C_{in}}{C_{out}}$$

$$dS_T = \frac{Q}{T}$$

$$S = k_B \ln\Omega$$

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

$$= H - TS$$

$$K = \frac{C_B}{C_A} = e^{-\frac{\Delta G^*_{B-A}}{RT}}$$

$$k(T) \propto e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_{high}}$$

$$= \frac{Q_{high} - Q_{low}}{Q_{high}} = \frac{RT_{high} - RT_{low}}{RT_{high}}$$

$$= \frac{T_{high} - T_{low}}{T_{high}} = 1 - \frac{T_{low}}{T_{high}}$$

$$dG = Vdp - SdT$$

$$\frac{\partial G}{\partial p} = V$$

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -S$$

$$J = -D\frac{dC}{dl}$$

Klassikaline difusioon:

$$x = \sqrt{4Dt} \propto \sqrt{t}$$

$$t \propto x^2$$

Greenhouse Gas Warming
The Alarmist' Key Ammunition;

Humans add CO2 to Atmosphere
That 'pollution' drives temperatures to Catastrophe

Is CO2 Plant Food?

Here is what happens with more CO2

385 ppm

535 ppm

685 ppm

835 ppm

Kust pärineb meie toit?

lutsern
mandel
õun
aprikoos
artišokk
spargel
avokaado
banaanid
oder

uba
mustikas
kapsas
porgand
maniokk
kirss
kikerhernes
tšilli
kaneel

ristik
kakaouba
kookosõli
kohv
puuvillaseemneõli
lehmahernes
jõhvikas
kurk
dattel

baklažaan
põlduba
viigimari
küüslauk
ingver
greip
viinamari
maapähkel
sarapuupähkel

humal
kiivi
porrulauk
sidrun ja laim
lääts
lehtsalat
mais
mango
mate

melon
saluhein
kaer
oliiv
sibul
apelsin
palmiõli
papaia
virsik ja nektariin

pirn
hernes
tuvihernes
ananass
ploom
kartul
kõrvits
kinoa
raps ja sinep

riis
rukis
seesamiseeme
sorgo
sojauba
spinat
maasikas
suhkrupeet
suhkruroog

päevalill
maguskartul
taro
tee
tomat
vanilje
arbuus
nisu
bataat

Total Energy Expenditure and Fat Free Mass for hominoids

nature

Biosfäär ehk elukeskkond on Maa sfäär (sh õhk, pinnas ja vesi), mida asustavad organismid.

Metabolismiks ehk ainevahetuseks nimetatakse protsessi, mille abil loomad ja taimed omastavad toitu ja vabastavad neis sisalduva energia.

Karbohüdraadid ehk süsivesikud ehk sahhariidid on suhkru ja suhkrusarnaste ühendite üldnimi (nt glükoos keemilise valemiga $C_6H_{12}O_6$). Esimesena lagundas tärklise suhkruks Vene keemik Gottlieb Kirchhoff 1812. a. Tärklis avastati Indias 400 a eKr, levis araablaste kaudu Läände ja toodi alles ristisõdijate poolt Euroopasse.

Lipiidid (nende hulka kuuluvad ka rasvad) on vees lahustamatud ained, mida kõrgemad organismid kasutavad biosünteesis energiaallikana või keha ehitusmaterjalina (nt $C_{57}H_{104}O_6$).

Valgud ehk proteiinid on aminohapetest koosnevad biopolümeerid (nt $C_{1864}H_{3012}O_{576}N_{468}S_{21}$).

Bioenergeetika arvudes (P. Palumaa)

- Iga kolmanda prootoni transpordil läbi ATP süntaasi kompleksi sünteesitakse üks ATP molekul.
- ATP sünteesi tsükkel toimub pidevalt, sest päevas vajab keskmine inimene (kaal 70 kg) 2800 kilokalorit (11 700 kilodžauli) energiat. Toidus sisalduva energia konverteerimine ATP-ks toimub umbes 50-protsendise efektiivsusega. Seega sünteesitakse päevas niipalju ATP-d, et see kataks energiavajaduse 5866 kilodžauli.
- Inimorganismis on umbes 50 grammi ATP-d, seega vahetub ATP tsükkel umbes 1300 korda päevas.
- Kuna 3 mooli prootoni kohta sünteesitakse 1 mool ATP, siis transporditakse läbi membraani 351 mooli prootoneid päevas.
- ATP hüdrolüüs annab rakulistes tingimustes umbes 50 kJ/mol, kokku sünteesitakse keskmises inimorganismis päevas 117 mooli ATP-d, mille mass on 64,6 kg.
- Oksüdatiivses fosforüleerimises tarbitakse iga nelja transporditud elektroni kohta üks hapniku molekul.
- Inimorganism tarbib päevas 562 grammi hapnikku ehk 393 liitrit puhast gaasilist hapnikku.
- Inimorganismis tekib päevas 773 grammi süsihappegaasi ehk 393 liitrit puhast gaasilist süsihappegaasi.

Arvuta

kui palju energiat saaksid ühest 150 g kohupiimakreemist, kui 100 grammis on:

valke 4,7 g

rasvu 1,8 g

süsivesikuid 15,2 g,

ja teades, et

- 1 g sahhariidide oksüdatsioonil vabaneb 17,6 kJ energiat
- 1 g lipiidide oksüdatsioonil vabaneb 38,9 kJ energiat
- 1g valkude oksüdatsioonil vabaneb 17,6 kJ energiat