

Milleks meile biofüüsika



Programmable computers have been developed that use DNA.

Arvi Freiberg

*TÜ Füüsika Instituut
TÜ Molekulaar- ja Rakubioloogia Instituut*

*37. Eesti Füüsikapäevad
24. Eesti Füüsikaõpetajate Päevad
Tartus 20-21. märtsil 2007*

Milleks füüsikutele bioloogia

⌘ Ernest Rutherford
(1871-1937):
"Kõik teadused peale
füüsika on vaid
margikogumine"



Milleks bioloogidele füüsika

⌘ Kuulus

evolutsioonibioloog

Ernst Mayr

(1904-2005):

“Füüsika pole kunagi

midagi andnud

bioloogia

mõistmiseks”



Kahe kultuuri kokkupõrge



Bioloogia ja meditsiin

- ❖ Teadmiste/õppe põhiosa moodustab tohutu kogus omavahel näiliselt mitteseostuvaid fakte
- ❖ Vähene kvantitatiivse mõtlemise õpetamine ja kogemus/treening

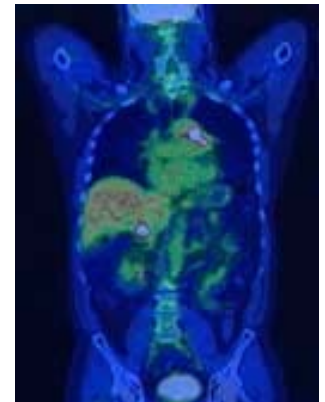
Füüsikalised teadused, sh matemaatika ja inseneriteadused

- ❖ Printsipiide/põhimõtete ja selgituste prioriteet
- ❖ Kvantitatiivsete oskuste kõrgtase
- ❖ Reaalsuse reduktsionistlik tajumine.
Vähene huvi keeruliste (sh elus-) süsteemide vastu

Albert Einstein: "Not everything that can be counted counts and not everything that counts can be counted."

Füüsika andam bioloogiasse

- ❖ **Optiline mikroskoopia:**
Esmaleiutaja **Anthony van Leeuwenhook** oli küll kaupmees (17. saj), kuid edasine areng seostub põhiliselt füüsikute mõttetööga
- ❖ **Wilhelm Conrad Röntgen** avastas röntgenkiired ja **William Bragg** lõi selle alusel **difraktsioonanalüüsi meetodi**
- ❖ **Ernst Ruska** lõi 1931-1933 **elektronmikroskoopia**
- ❖ Füüsikute kollektiivloome **NMR & PET tomograafia** on tundmatuseni muutnud meditsiinidiagnostika palet



Füüsika andam alusbioloogiasse



- ❖ **Bioelekteri** avastas **Luigi Galvani**, XVIII saj arstist füüsik. Uuris teiste hulgas ka keiserliku TÜ rektor Parrot, samuti füüsik.
- ❖ **Füsioloogia** alusrajajad olid **Thomas Young** (kahe pilu katse) & **Hermann von Helmholtz**, arstist füüsikud
- ❖ **Teoreetilise (bio)keemia** looja oli **Linus Pauling**, õppinud keemik, füüsik ja matemaatik
- ❖ Füüsik **Max Delbrück** rajas **molekulaarbioloogia**
- ❖ **Max Delbrück** ja **Erwin Schrödinger** ütlesid esimesena, et bioloogilised makromolekulid on geneetilise info kandjad
- ❖ Füüsik **Gamov** näitas, et geneetist koodi kannavad nukleotiitide tripletid
- ❖ Füüsikute osa on olnud määrav bioenergeetika ning valkude kokkuvoltimise molekulaarsed mehhanismide selgitamisel

Bioloogia andam füüsikasse

- ❖ Energia jäävuse seaduse kaasavastajad olid XIX saj arstid **Julius von Mayeri & Hermann von Helmholtz**
- ❖ Botaaniku **Robert Browni** katsed taimetolmuga päädisid kaasaegse atomismi ja statistilise füüsika loomisega **Albert Einstein**i poolt 1905. a
- ❖ Tänapäeval räägitakse samuti eluta mateeria (nt Universumi) evolutsioonist.
Evolutsiooniprintsiip tuli füüsikasse tänu **Darwini** töödele bioloogias, kirjeldades arenguprotsessi, kus süsteemi mitmekesisus suureneb.
Seejuures ilmnevad süsteemi uued omadused ja väheneb tema sümmeetria.
Üldistatud kirjeldus samast protsessist kannab **faasisiirete** teooria nime.

Kahe kultuuri sünergia- bioloogiline füüsika



Physics
Crossing
Borders

- ⌘ Fundamentaalne eeldus: Bioloogilisi nähtusi on võimalik paremini mõista, kirjeldades ja mõistes nende füüsikalist olemust
- ⌘ Bioloog uurib elusorganisme, mis koosnevad paljudest elementidest
Bioloogiliste süsteemide eripära: kompleksus
Põhitähelepanu reeglina süsteemil, mitte elementidel
- ⌘ Aga elementide vastastikmõjudest sõltub, kuidas
 - ☑ moodustuvad valgud, membraanid jt struktuurielemendid
 - ☑ rakud, organid energiat ja informatsiooni vahetavad

The hybrid science involving the application of physical principles and methods **to study and explain the structures of living organisms and the mechanics of life processes**

Bioloogilise füüsika küsimusi

Nature 453 (2005) 743



Intelligent design: no physics theory is able to explain a teapot.

- ⌘ Elu (termodünaamiline) olemus: Deterministlik või juhuslik
- ⌘ Iseorganiseerumise ja enese taastootmise kui kriitilised nähtused
- ⌘ Bioloogiliste protsesside atomaar-molekulaarne olemus, sh
 - ⌘ biokatalüüs
 - ⌘ molekulide struktuuri ja nende funktsiooni vahekord
 - ⌘ valkude kokku-lahtivoltimine
 - ⌘ biopolümeeride kollektiivsed (viskoelastsed) omadused (Bio)polümeeride eripära: nad ei allu koostise muutumatuse seadusele nagu tavalised molekulid
- ⌘ Rakuprotsesside statistiline füüsika

Bioloogilise füüsika küsimusi

- ⌘ Infotöötlemine, regulatsioon ja kommunikatsioon mürarikas keskkonnas
- ⌘ Raku energieetika
- ⌘ Füüsika (bio)keskkondade eralduspir
- ⌘ Molekulaarmootorid raku kiirteedel
- ⌘ Teadvuse neurofüüsika
- ⌘ Biomaterjalide radiatsioonikindlus
- ⌘ Konkreetsete bioprotsesside mehhanismid, nt
 - ⌘ Lihastalitus
 - ⌘ Fotosüntees
 - ⌘ (närv)signaalide levik

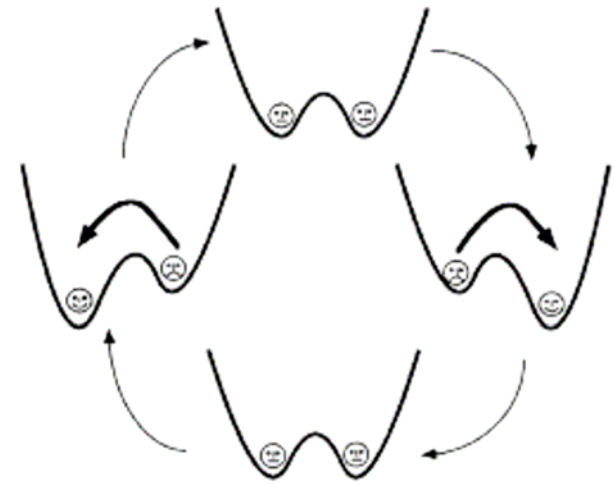


Figure 1. Mechanism of stochastic resonance: A symmetric bistable potential is periodically rocked by a weak signal. The presence of an optimal dose of noise (so that the average stochastic escape time approximately equals half the period of the signal) will statistically induce synchronized hopping events between the two locally stable states.

Eesti biofüüsika geograafia

➔ KBFI

- ➔ Bioenergeetika labor (V. Saks)

➔ Tartu Ülikool

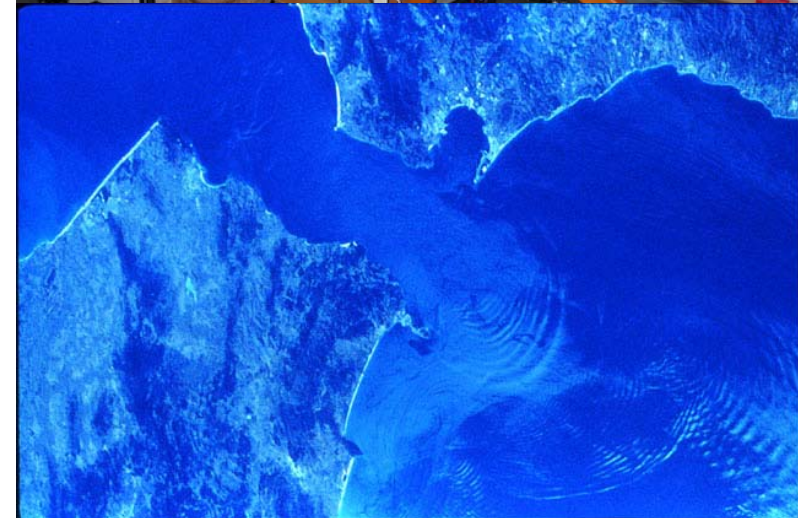
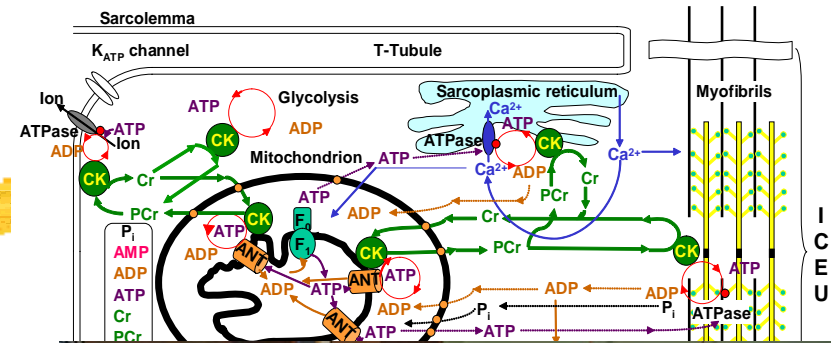
- ➔ FI biofüüsika labor (A. Freiberg), veidi
- ➔ MRI biofüüsika ja taimefüsioloogia õppetool
- ➔ FO (J. Vedru, R. Tammelo)
- ➔ Füsioloogia õppetool arstiteaduskonnas (J. Kivastik)

➔ Tallinna Tehnikaülikool

- ➔ Kübl mittelineaarsete protsesside uurimiskeskus (J. Engelbrecht, J. Kalda)

40-50 aktiivset teadurit/õppejõudu (~5% teadlaskonnast)

Intracellular Energy Units (ICEU)



Biofüüsika Tartu Ülikoolis

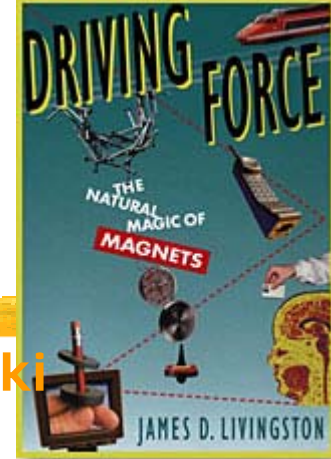
- ⌘ **Biofüüsika ja elektrofüsioloogia problemlaboratoorium**
(1961-1992): L. Võhandu ja M. Epler
Pühendus **meditsiinifüüsika** probleemidele.
Jätkutegevus FO rakendusfüüsika instituudis (J. Vedru) ja
arstiteaduskonna füsioloogia õppetoolis
(J. Kivastik, R. Raamat)
- ⌘ **FI biofüüsika laboratoorium**
Asutatud 2005.: A. Freiberg
Molekulaarne fotobiofüüsika
- ⌘ **MRI biofüüsika ja taimefüsioloogia õppetool**
Asutatud 2006.: A. Freiberg
Fotosünteesi molekulaarsed ja rakuprotsessid



Biofüüsikat eraldi õppekavana pole TÜ-s ega üheski teises Eesti kõrgemas õppeasutuses kunagi olnud

Aeg atra seada: Liikumapanevad jõud

Biofüüsikat eraldi õppekavana pole TÜ-s ega üheski teises Eesti kõrgemas õppeasutuses kunagi olnud



Objektiivne

- ❖ Teaduse arengu sisemine loogika. Bioloogia tormiline areng viimastel kümnenditel, mis vajab mõtestamist
- ❖ Loodusteadusliku kõrghariduse proportsioonid, tase ja ülesehituse põhimõtted Eestis jäävad maha arenenud riikide omast
- ❖ Nii Eesti (bio)füüsika kui ka (molekulaar)bioloogia on rahvusvaheliselt tuntud. Võimalik sünergia

Enesekeskne

- ❖ Järelkasvu vajadus
- ❖ Kriitilise massi teadlaste puudumine edukaks ja jätkusuutlikuks tegutsemiseks
- ❖ Vajadus omandatut edasi anda

Lõpetame hala, et oleme väikesed ja meist ei sõltu midagi!

Esiteks kindlasti haridus. Michael Porter uuris juba 15 aastat tagasi, mis on ühist majanduslikult edukatel riikidel.

Ta jõudis järeldusele, et olgugi et need riigid võisid asuda maailma eri paigus, neil võis olla erinev juurdepääs loodusvaradele jne, oli neil üks ühine tunnus: **võrreldes vähem edukate riikidega palju kõrgem protsent inimesi, kellel on tehniline või reaalaridus.**

Meie praegused popid erialad nagu avalik haldus, suhtekorraldus ja ärijuhtimine võivad küll täna-homme anda tasuva töökoha, aga kui me tahame, et Eesti oleks ühel hetkel samal tasemel mis Soome või Lirimaa, on meil vaja innovaatilisi inimesi.

Meil on vaja rohkem füüsikuid, matemaatikuid, insenere ja loodusteadlasi.

Aga kui me koolitame ainult avalikke haldajaid, ärijuhte ja suhtekorraldajaid, siis ühel päeval polegi meil seda, mida hallata, juhtida ja mille suhteid korraldada.



Miks just praegu

Soodus õhustik

- ❖ Samamoodi edasi ei saa.
Erinevalt bioloogiast on füüsika vähe sexy.
Aitab füüsikat (re)humaniseerida
- ❖ Ülikooli struktuurireform: LOTTE
- ❖ (Välis)rahade olemasolu/juurdevool nii õppe- kui ka teadustöö kaasajastamiseks
- ❖ Meetmed emakeelse õppekirjanduse (taas)tekitamiseks
- ❖ Surve atraktiivsete võõrkeelsete kursuste loomiseks.
Multidistsiplinaarsetel erialadel võiks olla konkurentsieeliseid



Kas jagub kompetentsi?: Biofüüsika Eesti ülikoolides

Tartu Ülikool

- ❖ **Bioloogiline füüsika** (BGMR.07.023; **B**; 4 AP; A. Freiberg)
- ❖ **Meditiinifüüsika** (FKKF.03.042; **B**; 3 AP; H. Ohvril)
- ❖ **Biofüüsika** (ARFS1023; **B**; 3 AP, J. Vedru)
- ❖ **Elussüsteemid** (FKEF.02.113; **M**; 2 AP; J. Vedru)
- ❖ **Kvantitatiivsed meetodid biofüüsikas**
(FKEF.02.121; 1 AP; J. Vedru)
- ❖ **Kompuuterfüüsika, -keemia, -bioloogia** (B; 2 AP A. Aabloo)
- ❖ **Bioenergeetika** (BGMR.07.009 **M**; 2 AP, A. Laisk)
- ❖ **Bioloogiast inspireeritud robotid** (B; 2 AP M. Kuusmaa)

Eesti Maaülikool

- ❖ **Meditiinifüüsika koos biofüüsika alustega** (**B**; 2 AP; Jeršova)

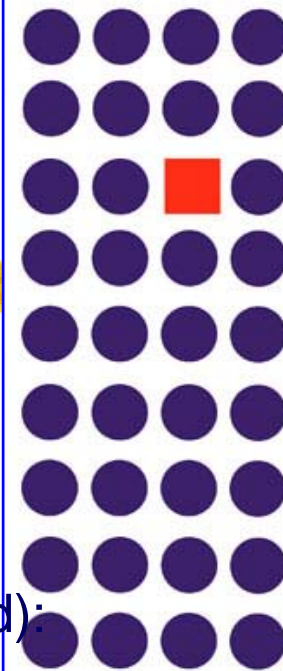
Tallinna Tehnikaülikool

- ❖ **Biofüüsika** (KKB3330; ? 1.53 AP; R. Vilu)

$\Sigma=14.5+$ AP **B tasemel ja 4 AP **M** tasemel**

Rakendamata potentsiaal

- ❖ Biomimeetilised (visko-elastsed) materjalid ja nanotorud: J. Kikas
- ❖ Mehaanilised protsessid biokeemias, sh Üksikmolekulide teravikmikroskoopiad: R. Lõhmus
- ❖ Signaalid müradest (stohhastilised resonantsid): R. Tammelo, R. Mankin
- ❖ Fluorestsentsi korrelatsioonmetoodikad: P. Kask, Ü. Mets, K. Palo
- ❖ Lihasprotsessid: A. Vain
- ❖ Närvivõrgud: J. Allik
- ❖ Fraktaalsus ja biofüüsika: J. Kalda
- ❖ **Põhjamaade dimensioon:**
NordForsk (3+2) Network on PHYSICAL PHOTOBIOLOGY
- ❖ **Euroopa dimensioon:**
COST (9) Network on DESIGN AND FUNCTION OF SELF-ASSEMBLED LIGHT-ENERGY CONVERSION DEVICES



Not going along with the crowd can help you stand out in the crowd.

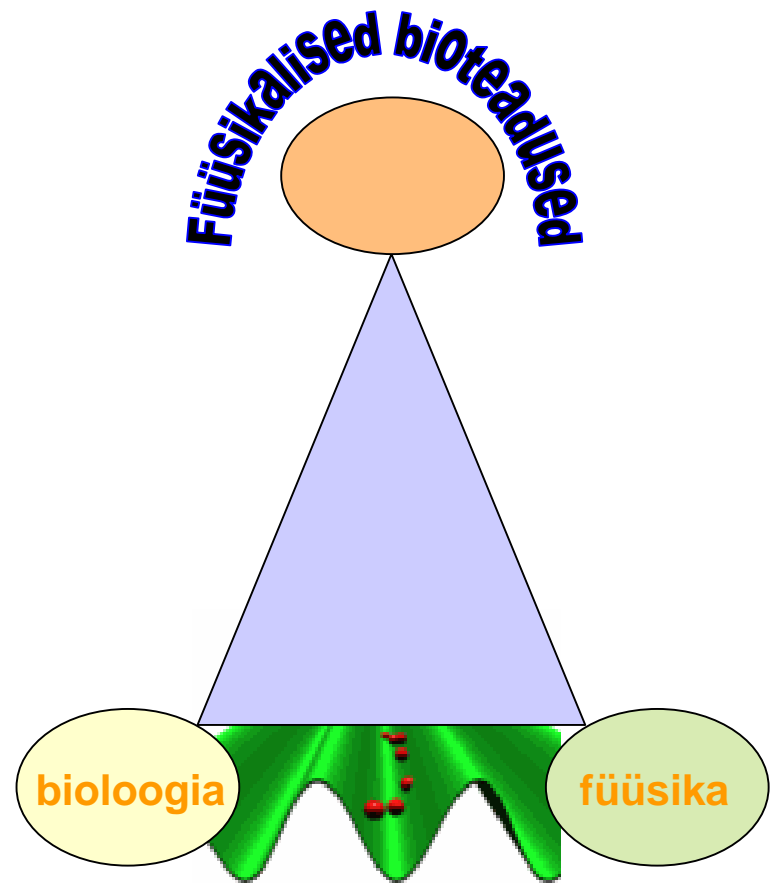
Sometimes being yourself is the hardest thing to do. Going along with the crowd may be easy, but being an individual will be more rewarding. Don't make your choices based on the crowd. Make your choices based on *your* feelings... *your* values... and *your* needs!

NB! Väljapakutud isikud on autori nimekandjatega kooskõlastamata suva

Õppekava visioon



- ❖ Füüsikalised bioteadused /
bioloogiline füüsika
- ❖ *Physical biosciences /
biological physics*



“Loodusega võideldes võib inimene võita kõik lahingud peale viimase.”

Thor Heyerdahl (1914 – 2002)

Kokkuvõtteks

- ⌘ Biofüüsika on teadusena ennast juba ammu tõestanud, ka Eestis
- ⌘ Juhtivates maailma ülikoolides on seda eriala õpetatud vähemalt pool sajandit
- ⌘ On (tagumine) aeg selle sammu astumiseks ka TÜ-s. Alustada võiks magistri-doktoriõppe tasemelt
- ⌘ Seda praegu tehes me ainult realiseerime FO 10 aasta tagust (1997) otsust:
 - ❖ Arendada BG molekulaarbioloogia, FI biofüüsika ning FO meditsiinilise füüsika teadusuuringute alast kokkupuudet
 - ❖ Pidada otstarbekaks molekulaarse biofüüsika eriala sissetoomist, esialgu FO magistri- ja doktoriõppe valikainete tasemel
 - ❖ Alustada vastavaid läbirääkimisi teaduskondade jne tasemel

Doktoritöö 120 AP+40 AP erialaaineid

Neurobioloogia

Ökotehnoloogia

Keskkonnaseire ja tehnoloogia

Bioloogiast inspireeritud tehissüsteemid (bioonika)

Infotehnoloogia ja robotika

Magistritöö 20 AP+60 AP erialaaineid

Molekulaar- ja rakubioloogia

Geenitehnoloogia

Biotehnoloogia ja biomeditsiin

Bioinformaatika (statistika ja andmete analüüs)

Keemiline materjalitehnoloogia

Teoreetiline füüsika

Mõõtmistehnoloogia

Meditsiinitehnoloogia

Nanotehnoloogia

Füüsikaline materjalitehnoloogia ja keskkonnafüüsika

Biomeditsiinitehnoloogia/ Biokatalüsaatorite tehnoloogia

Elektrofüsioloogia

Bioenergeetika

Süsteemibioloogia (systems biology)

Struktuuribioloogia (structural biology)

Radiobioloogia

Makromolekulaarne modelleerimine (in silico biology)

Komplekssüsteemide füüsika

Radiatsioonifüüsika

Elektroonika

Rakendusfüüsika

Makromolekulide struktuur ja dünaamika

Bakalaureusetöö 4 AP+12 AP valikaineid+8 AP vabaaineid

I erialamoodul 16 AP

Analüütiline ja füüsikaline keemia

Teoreetiline ja arvutikeemia

Kolloid- ja keskkonnakeemia

II erialamoodul 16 AP

Biofüüsika

Keemiline ja kvantfüüsika

Optika ja spektroskoopia (sh rakendusoptika ja biofotoonika)

I suunamoodul 16 AP

(Eeldusained: kuni 8 AP I alusmooduli ainete hulgast)

Bioorgaaniline keemia koos praktikumiga

Geneetika

II suunamoodul 16 AP

(Eeldusained: kuni 8 AP II alusmooduli ainete hulgast)

Teoreetiline mehaanika

Termodünaamika

Elekter ja magnetism

I alusmoodul bioloogia 16 AP

Bioloogia alused

Raku- ja molekulaarbioloogia

Ökoloogia

II alusmoodul füüsika 16 AP

Füüsikaline maailmapilt koos praktikumiga

Matemaatiline analüüs

Diferentsiaalvõrrandid

Integrated introductory science *curriculum*


- ❖ **First year** introductory course where **math**, the **physics**, and **biology** are introduced **together**, emphasizing concepts, methods, and facts that are fundamental and generalizable
- ❖ Explains how each discipline contributes to understanding the phenomena of life and how arbitrary/irrelevant are the boundaries between disciplines
- ❖ Reinforces **quantitative understanding** of the natural phenomena
- ❖ Allows for students aiming at a research career in academia, industry, or medicine to **continue** their education in **any area of science**
- ❖ Students will share a common scientific language, facilitating both **cross-disciplinary understanding** and **collaboration**

Molekulaarse biofüüsika küsimusi



1. Mis on esmaste fotoergastuste olemus fotosünteesis?
2. Kuidas nad evolutsioneeruvad (relakseeruvad) ja fotosünteesilises membraanis levivad?
3. Põhiliste termodünaamiliste parameetrite (rõhk ja temperatuur) mõju pigmentide ja valkude spektritele, protsessidele ning struktuurile

Curriculum in physical biosciences (beyond reductionism)



- ❖ **Biology:** molecular biology, cell biology, genomics, neurology, bioenergetics, electrophysiology, systems biology, ecology, biotechnology
- ❖ **Chemistry:** organic chemistry, biochemistry, structural biology, analytical chemistry, physical chemistry, radiobiology, theoretical chemistry, biosensorics
- ❖ **Physics/engineering:** applied physics, theoretical physics, physics of complex systems, optics, biophotonics, structure and dynamics of macromolecules, radiation physics, robotics
- ❖ **Mathematics/computer science:** computational and applied mathematics, *in silico* biology, macromolecular modeling, statistics and probability theory, chaos