

A síntese da biologia e as ciências exatas no desenvolvimento da Astrobiologia

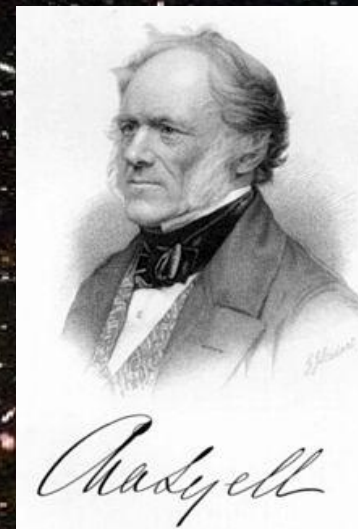


J.E. Horvath
Astronomia IAG - USP

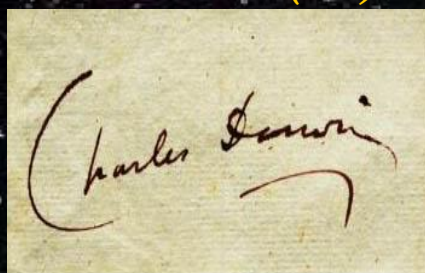
*2006 Burlington House, Londres
Royal Geological Society*



*Charles Lyell
Figura fundamental da
Geologia moderna*

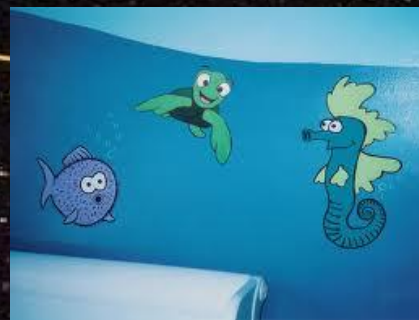
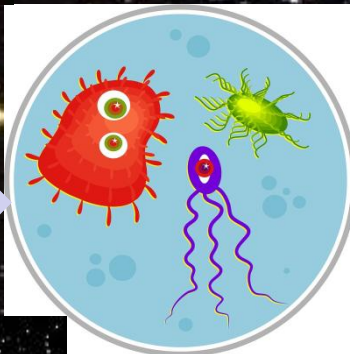
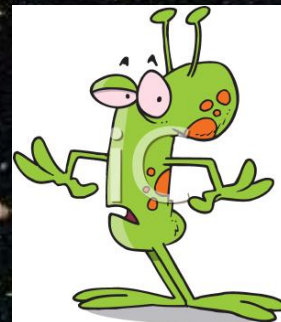


*Assinatura de Charles Darwin
no livro de Atas (???)*



*A Biologia não existia em ~1850 !
(Darwin não era “biólogo”)*

*As disciplinas científicas foram
“construídas” paulatinamente
(muitas no século 19)*



HONEST - I HAD
NO IDEA THEY COULD
JUMP THAT HIGH!



*Astrobiology is
all about a gestalt*



*Um exemplo importante
de como organizar e construir uma ciência:
2500 anos de Cosmologia...*

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

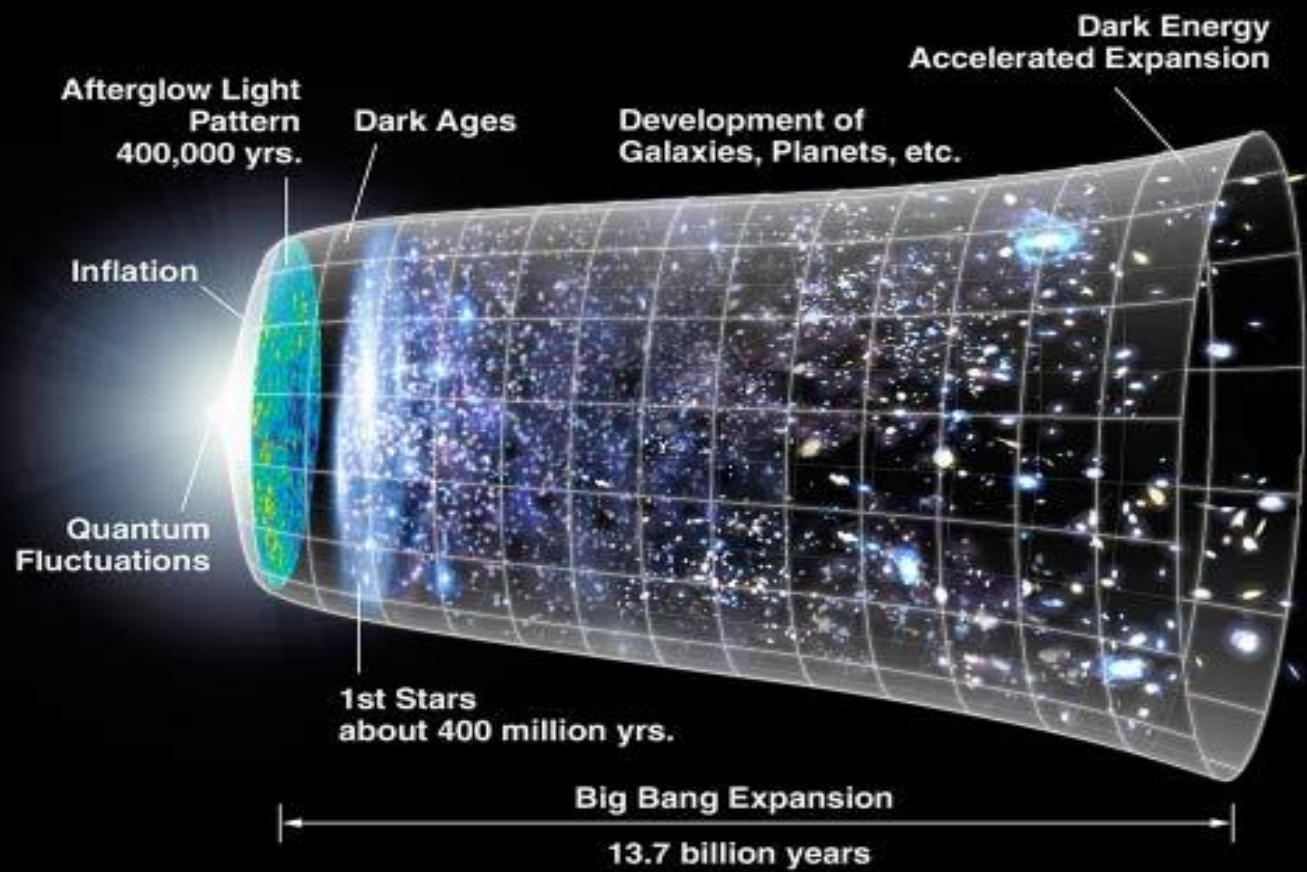
$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3P)$$

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{C}{a^2}$$

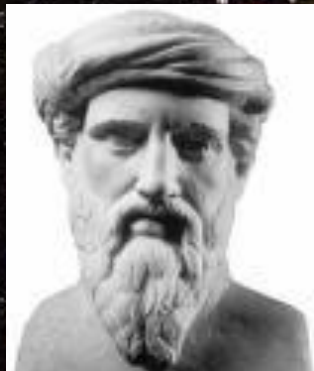
$$\dot{\rho} = -3\frac{\dot{a}}{a}(\rho + P)$$

As leis físicas (matemática) formam parte do *logos*

$$P = \omega\rho$$



A ciência: Unificação vs. Dualidades



O mundo é uma
estrutura matemática



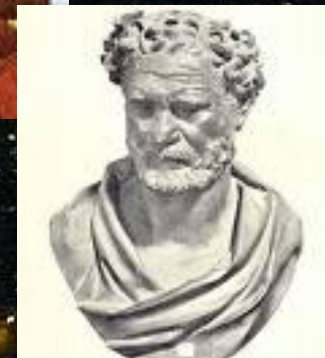
Sistemas complexos
(incluídos os biológicos)
decorrem de uma
estrutura matemática:
o algoritmo



Platão e a invenção
da *forma*

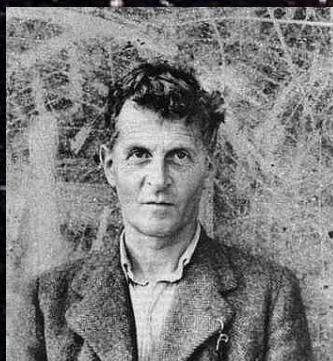


Mente e matéria



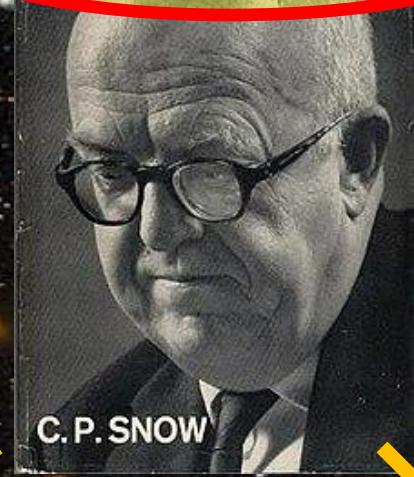
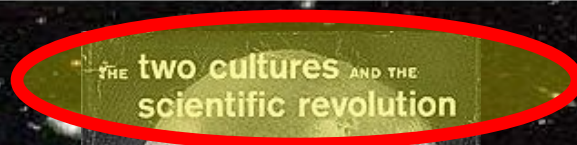
O intelecto e a alma são
a mesma coisa, composta
de átomos

Mecanicismo (*Deus ex Machina* - robôs?) vs. animismo (Hume)...



Leis? Fundamentais?
Meras tautologias?





Ciências

Humanidades

Ciências
Exatas

Biológicas

Leis gerais

Estudos de caso

Abordagem dedutiva

Abordagem indutiva

“Fisicalismo”, Reduccionismo e seus desdobramentos biológicos

“Fisicalismo”: a física determina todos os fatos
(não existe nada “sobrenatural”)



...mas não é tão claro se os processos biológicos são **autônomos**
dos processos físicos

São autônomos :
Anti- Reduccionismo

Não são autônomos :
Reduccionismo

Epistêmico
(barreira impossível
de superar)

Ontológico
(princípios)

Um exemplo importante:

o Princípio de Seleção Natural (PNS)

Se X está mais adaptado que Y num ambiente A , provavelmente haverá uma geração futura G na qual X terá mais descendentes que Y

- 1) O PNS é uma lei **não inferida** a respeito dos sistemas biológicos **emergente** de processos físico-químicos
- 2) O PNS é uma lei **inferida** a respeito dos sistemas biológicos **derivável** das leis da física/química (Reduccionismo)
- 3) O PNS é uma lei **não inferida** a respeito dos sistemas **em geral**, ou seja, fundamental (argumento anti-Reduccionista)

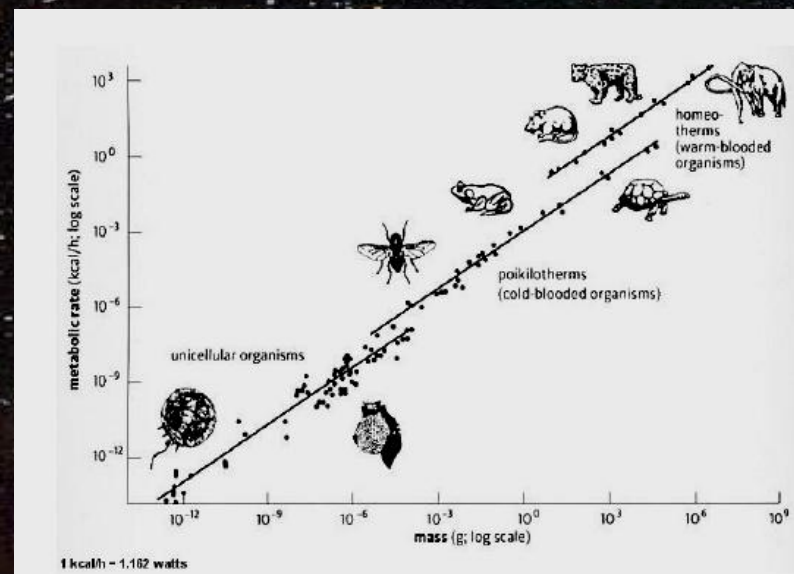
Leis biológicas (?)

Evolutivas
(no tempo)

Não existem,
ou são muito
complicadas

Matemática
(a priori)

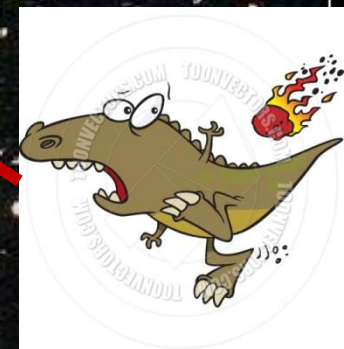
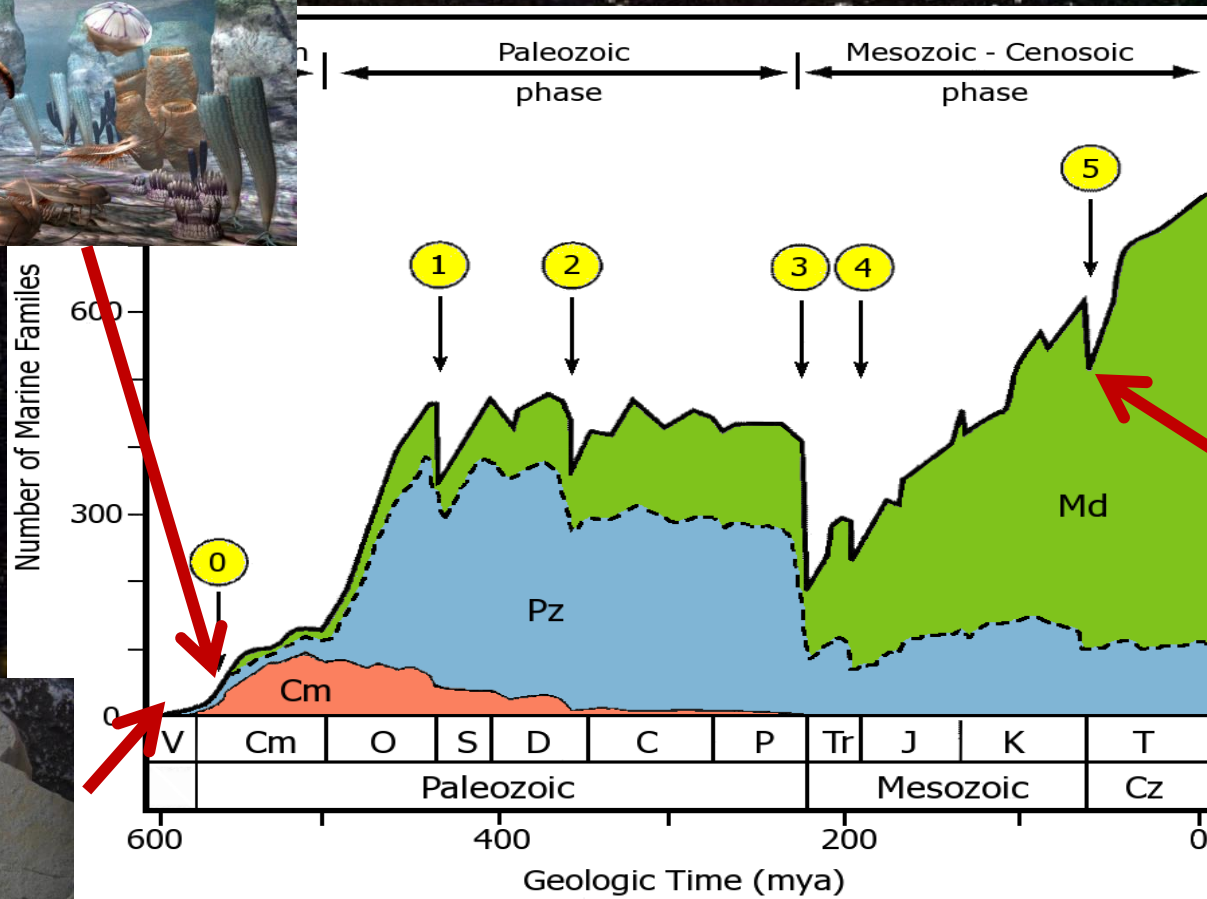
Existem,
mas podem ser
reduzíveis às da
Física/Química



Exemplo: alometrias
(relacionadas à Evolução !)

Não confundir modelos
matemáticos/estatísticos
com leis fundamentais,
ancoradas em princípios
gerais

Mais uma tentativa recente de descrição quantitativa: a evolução da diversidade na biosfera



A hipótese de trabalho: seja N_G o número de *genera* (biodiversidade)

Na ausência de perturbações, o N_G deve permanecer constante. Ainda se “forças ecológicas” estão agindo, teremos uma dinâmica do tipo inercial (não Lotka-Volterra !)

$$\frac{d^2 N_G}{dt^2} = 0$$

no estado estacionário, sem perturbações (a hipótese de Mc Crea & Brandon (2010) do aumento na biodiversidade em condições estacionárias pode ser incluído se a constante de integração é diferente de 0...)

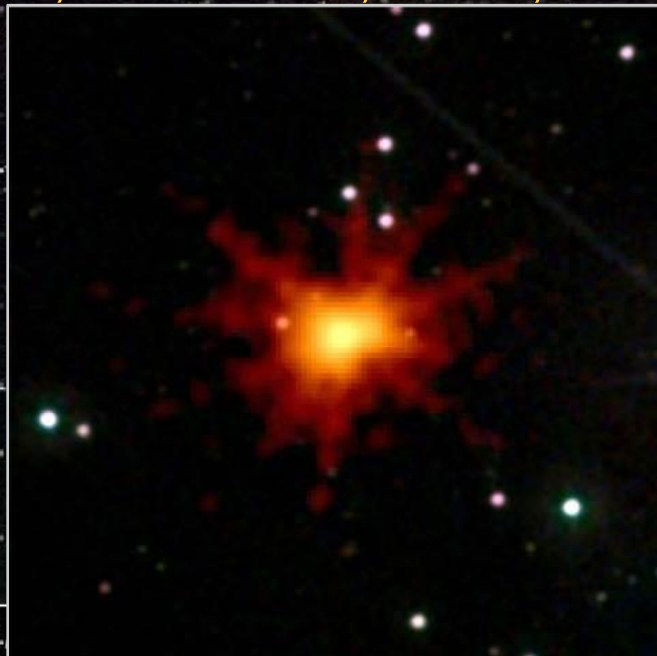
Considerando a ação das “forças ecológicas”, outros termos não lineares são possíveis (e *devem* existir) Mas por ora vamos considerar a equação dinâmica tipo oscilador

$$\frac{d^2 N_G}{dt^2} + \beta \frac{dN_G}{dt} + \alpha(N_G - N_G^{max}) = f$$

Com f arbitrária representando a ação encima da biodiversidade

Incidence of GRBs onto biospheres

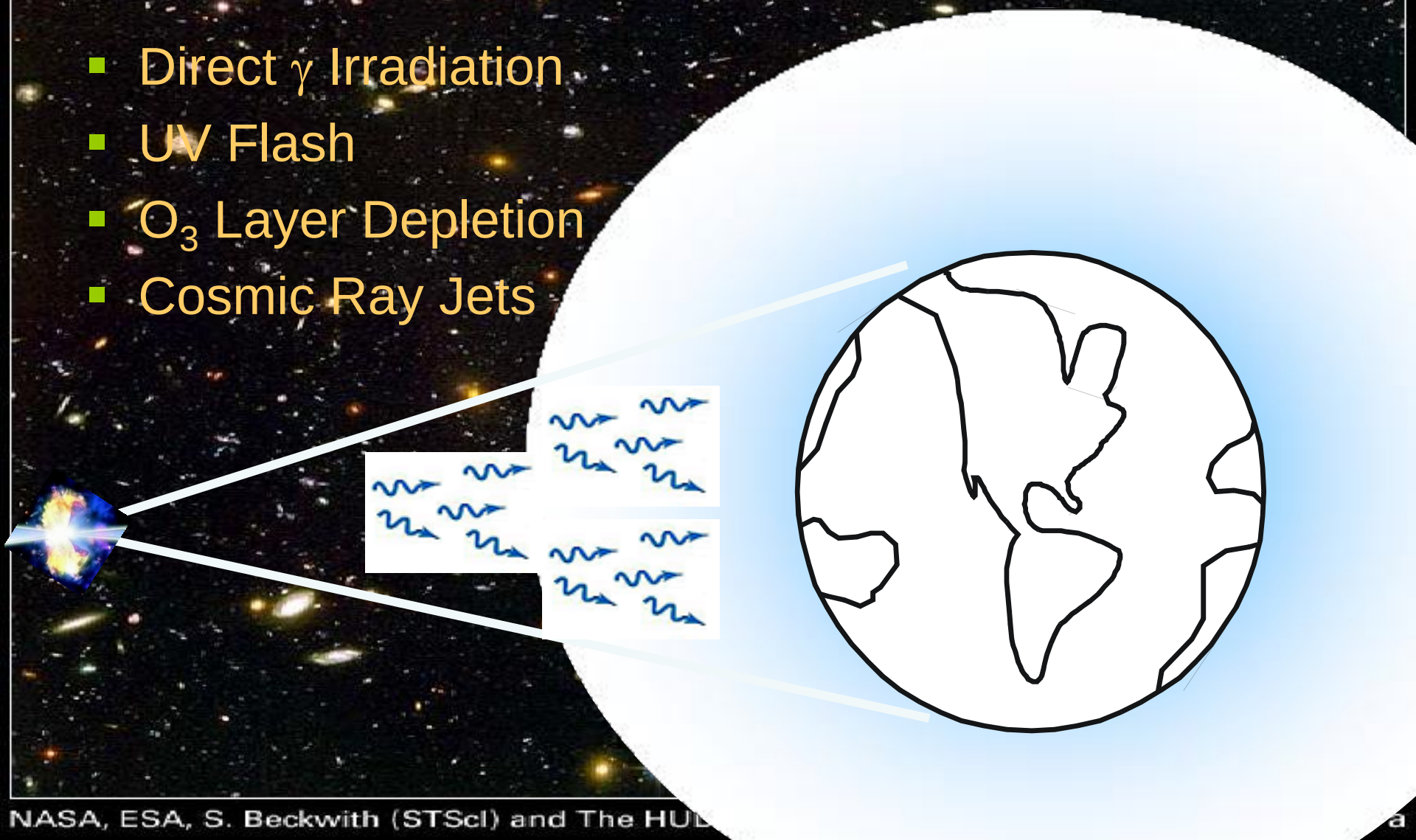
- Most luminous objects of the universe
 - $L \sim 10^{54}$ erg s⁻¹
- 1997: BeppoSAX → X-ray afterglows
 - Optical counterpart follow up: 1st host galaxies
 - Redshifts measured: *cosmological origin* ($z \sim 1$)
- 1998: GRB 980425 / SN 1998bw
 - Core collapse of massive stars
- BATSE, BEPPOSax, HETE, INTEGRAL → real time follow up



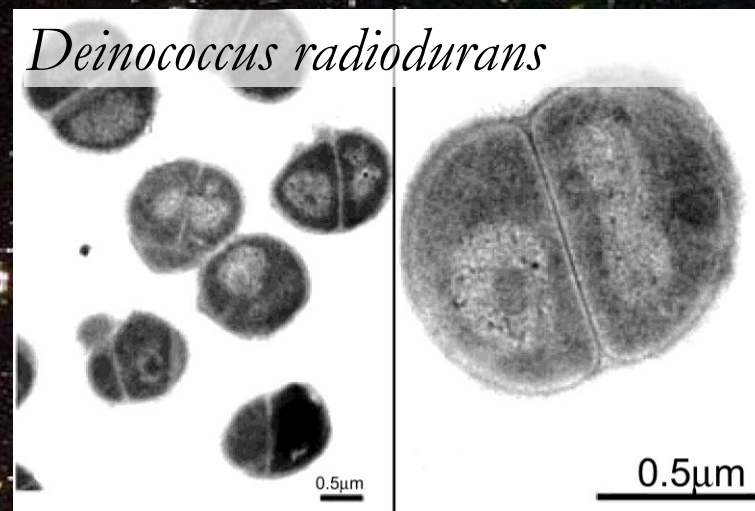
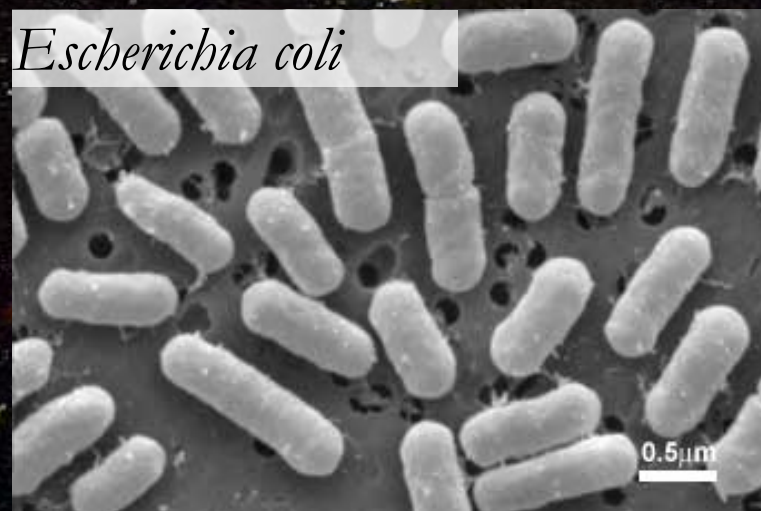
GRB 100621A : shutdown of SWIFT
instruments @ $z \sim 0.5$
Counts > 140 000 / second

4 main effects

- Direct γ Irradiation
- UV Flash
- O₃ Layer Depletion
- Cosmic Ray Jets

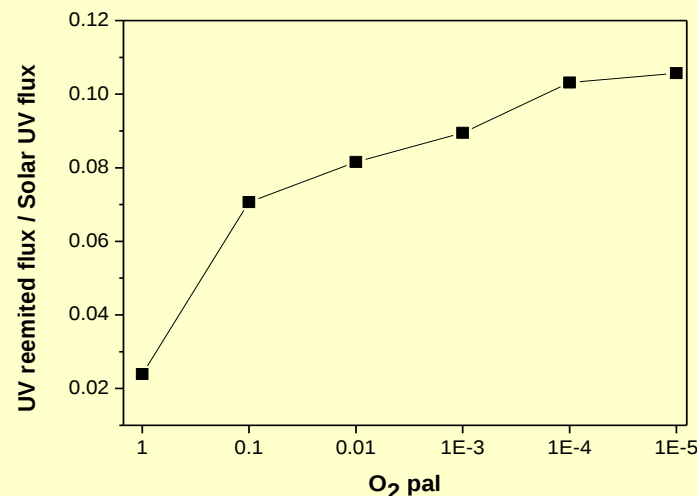


Model GRB assumptions (flux, $h\nu_{\text{peak}} \sim 1 \text{ MeV}$, etc) + adoption of model organisms = calculation of lethal distances



	D10 UV (erg/cm ²)	D10 γ (erg/cm ²)
<i>E.coli</i>	2×10^6	4×10^8
<i>D.radiodurans</i>	6×10^6	6×10^9

UV Flash



- Biological Effects: direct genomic alterations (dimerization, etc)

E.coli: $D_{10_{UV}} \sim 2 \times 10^5 \text{ erg/cm}^2$

D.rad: $D_{10_{UV}} \sim 5 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2$

- Thin atm:

- *E.coli*: $15 \text{ kpc} < D_{\text{crit}} < 48 \text{ kpc}$

- *D.rad*: $3 \text{ kpc} < D_{\text{crit}} < 10 \text{ kpc}$

- Thick atm:

- *E.coli*: $7 \text{ kpc} < D_{\text{crit}} < 30 \text{ kpc}$

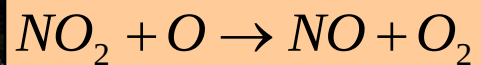
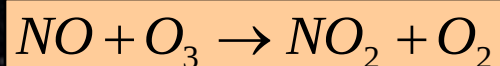
- *D.rad*: $1 \text{ kpc} < D_{\text{crit}} < 6 \text{ kpc}$

Harmful at
galactic distances!

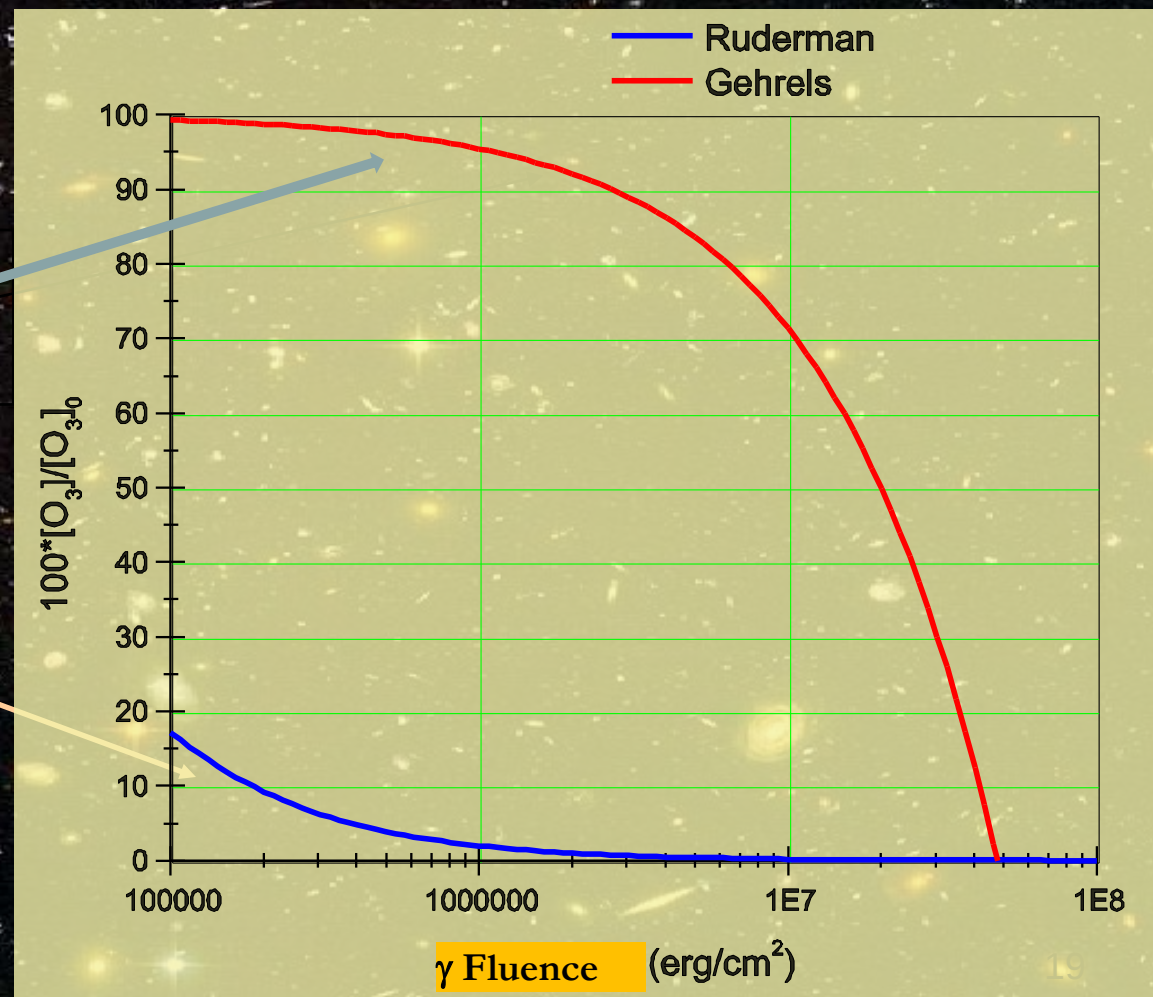
O₃ Layer Depletion

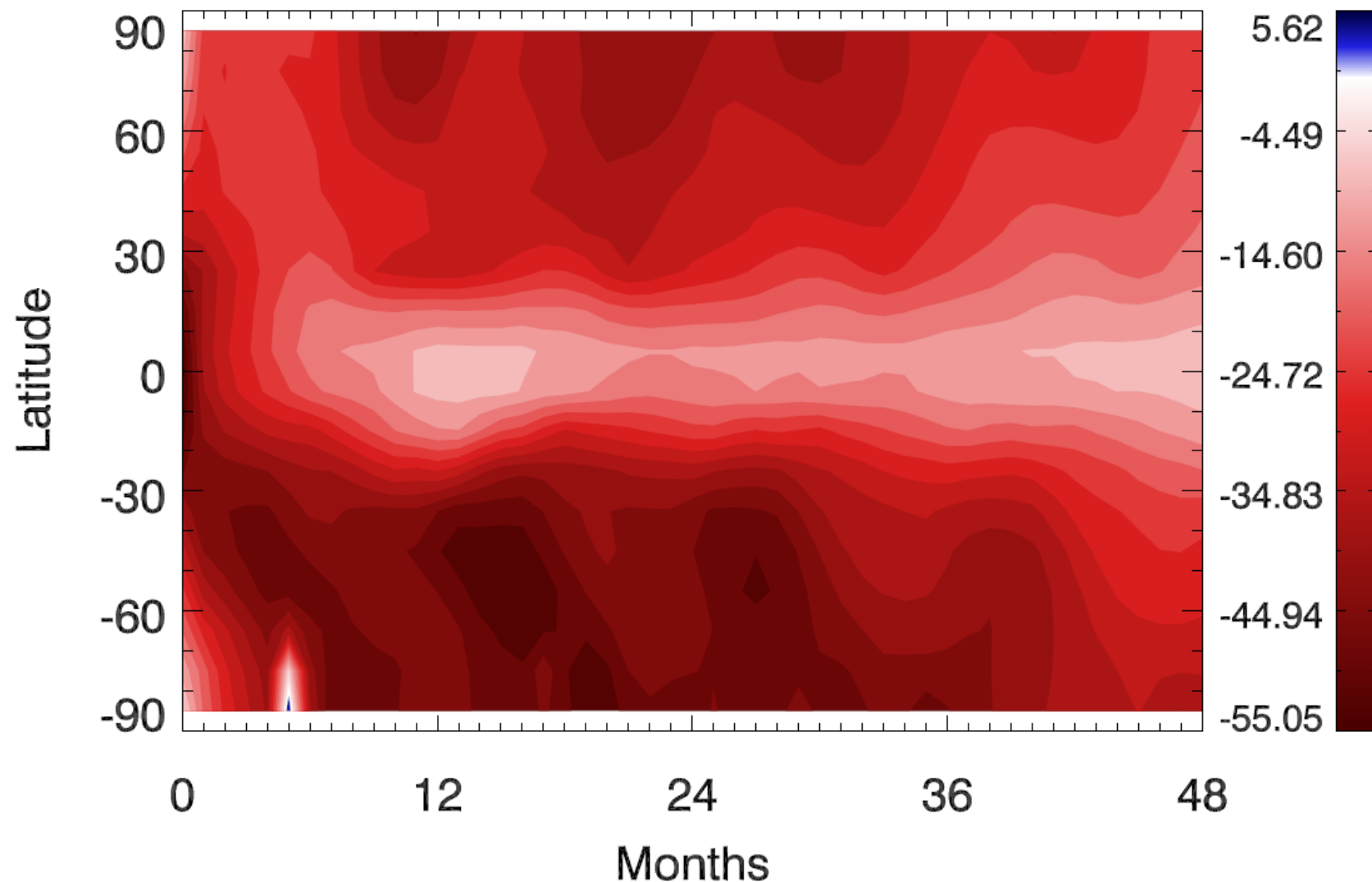
Numerical
results

NO_x Production:



See Thomas &
Mellot 2006

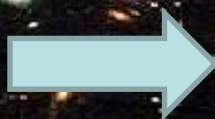




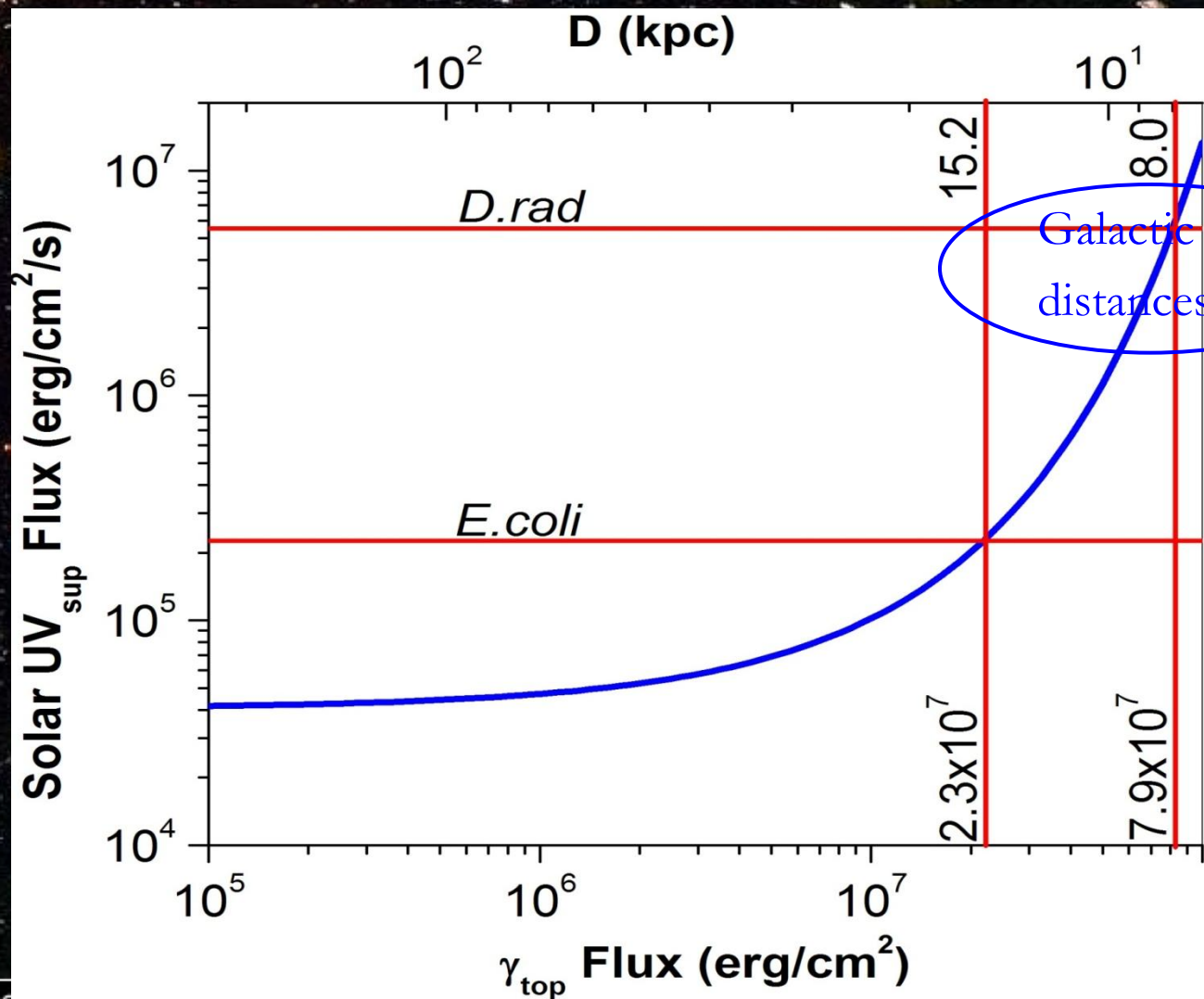
Simulated depletion of an equatorial incidence 2 kpc burst,
from B. Thomas et al. (2005)

Solar UV increase

$$\phi_0^{UV_B} \approx 10^6 \text{ erg/cm}^2/\text{s}$$



$$\phi_{\text{sup}}(\text{erg/cm}^2/\text{s}) = \phi_0(\text{erg/cm}^2/\text{s}) e^{-\left(\sigma \frac{[\text{O}_3]}{[\text{O}_3]_0} N\right)}$$



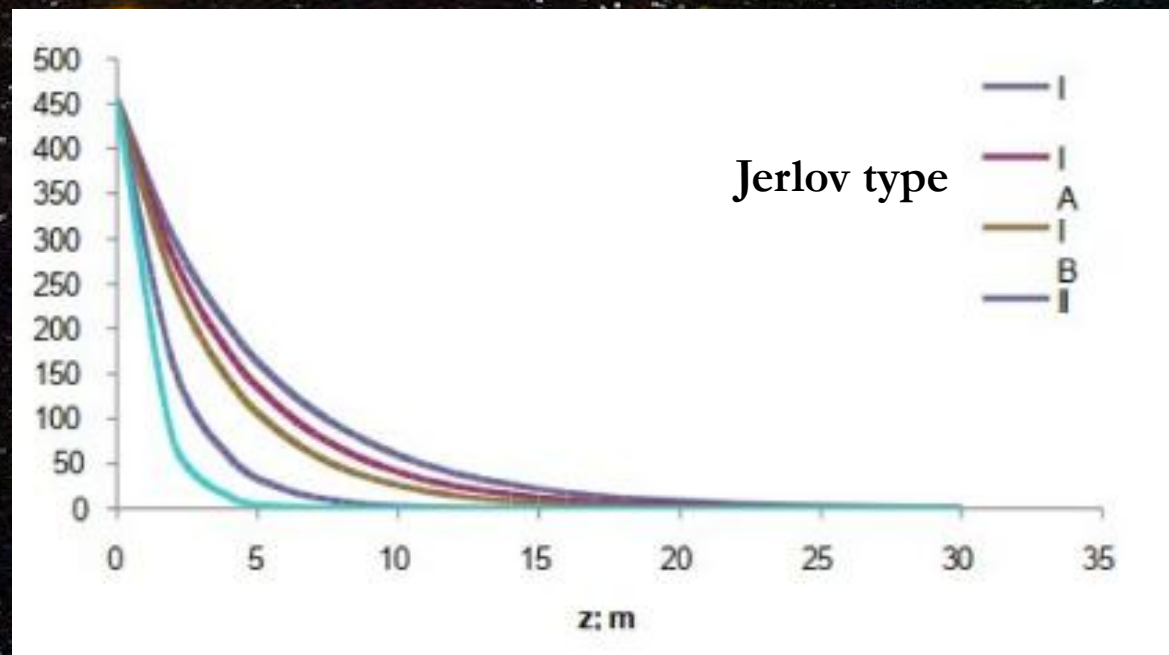
Conclusions of GRB study

- GRBs are able to strongly affect the biosphere of a planet (10's of kpc) (as suggested by Thorsett 1995).
- The UV flash and the ozone damage are the most important effects if a planet is hit from ~kpc distance
- (after taking into account the action spectrum etc etc.)
- Futures perspectives: Genetic and astronomic signatures of GRBs (Ordovician extinction suggested by Melott et al.)
- There may be large effects on the water environments, affecting the phytoplankton. This is under study

Influence of a galactic gamma ray burst on ocean plankton

Lien Rodríguez-López¹ | Rolando Cardenas² | Lisdelys González-Rodríguez³ | Mayrene Guimaraes⁴ | Jorge Horvath⁵

Effective doses



Depth

Astrobiology in Brazil

1st chapter : Brazilian Workshop on Astrobiology (2006)
gathered ~ 70 participants
from 14 institutions (mainly SW) Brazil

Definite disciplinary focus, research interests
became clear

2nd chapter : (2008)

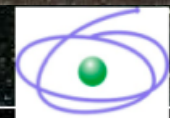
The initiative of AstroLab at Sao Paulo U. (USP)

Criação do AstroLab - Brasil

**Open user
facilities!**



INEspaço



NAP – Astrobio

- Approved and funded by USP in 2011 as an emerging Research Unit of the University – formal organization and structure
- Consolidation, academic support and extension of AstroLab facilities
- 16 researchers from USP (6 institutes) and 25 external collaborators, including international ones
- Close collaboration with NAP of Nuclear Physics and other Institutions at USP and elsewhere
- Funding of ~ \$ 600,000.00 for 3 years, now virtually “broken” because of the USP financial Black Hole

Mission of the NAP – Astrobio

- Allow the integrated work on the study of Life on the Universe by researchers and students of different areas and institutions
- Create a *common language*, working space and virtual network for these interactions, and a common *gestalt*
- Foster international interchange: US, Europe and Latin America
- Stimulate the scientific culture in Brazil

NAP Faculty members

E. Janot Pacheco (IAG)
(Astronomy/exoplanets)
A. Friaça (IAG)
(astronomy/chemical evolution/public outreach)
R. Costa (IAG)
(astronomy/stellar evolution/instrumentation)
J. E. Horvath (IAG)
(astronomy/high energy astrophysics)
C. Lage (UFRJ)
(biophysics/DNA repair)
V. Pellizari (IO-USP, marine microbiology)
Fabio Rodrigues (IQ/USP) Molecular spectroscopy and biosignatures
Douglas Galante (LNLS/Campinas)
(AstroLab+AstroCam Manager)

Other collaborators

R. Trindade (IAG) (Geophysics)
T. Koide (FMRP-USP)
C. Menck (ICB-USP)
E. L. Durigon (ICB-USP)
A. Naves de Brito (UNB/LNLS)
O. Fernandes + E. Rinke dos Santos (INPE)
M. Kato (IQ-USP)
C. Vaz (Orbital)
V. Parro e D. Barzon (IMT)
F. Kassab + R. P. Marques (LAC-Poli)
D. Zaia (UEL)
Rubens Duarte + Cristina Nakayama
(IO/USP)

+ 12 graduate students etc.

É MUITO difícil “trazer” as pessoas para fazer coisas concretas

Some scientific objectives



Environmental microbiology

Biodiversity of extreme environments, especially in Brazil, Latin America and Southern oceans

Space and planetary simulations / Theory

Testing biological and chemical samples in extraterrestrial conditions

Interaction radiation / biology

Planetary atmospheres, biosphere/atmosphere interaction, biosignatures

Planetary formation and disk dynamics and observations

Public outreach and education

Using astrobiology to stimulate scientific interest and as a tool for teaching on all levels

Environmental microbiology



2013: a longa viagem da Vivian Pellizari (IO-USP)



Shinkai 6500

3000 m de profundidade na
Bacia de Santos



Hydrothermal
vents



Space and planetary simulations in AstroLab

ASTROCAM

UHV

10^{-11} mbar

Temperature (10 to 450K)

Radiation (UV, synchrotron,
particles)

Low pressure

10^{-8} mbar – 10 mbar

Gas mixtures

Temperature

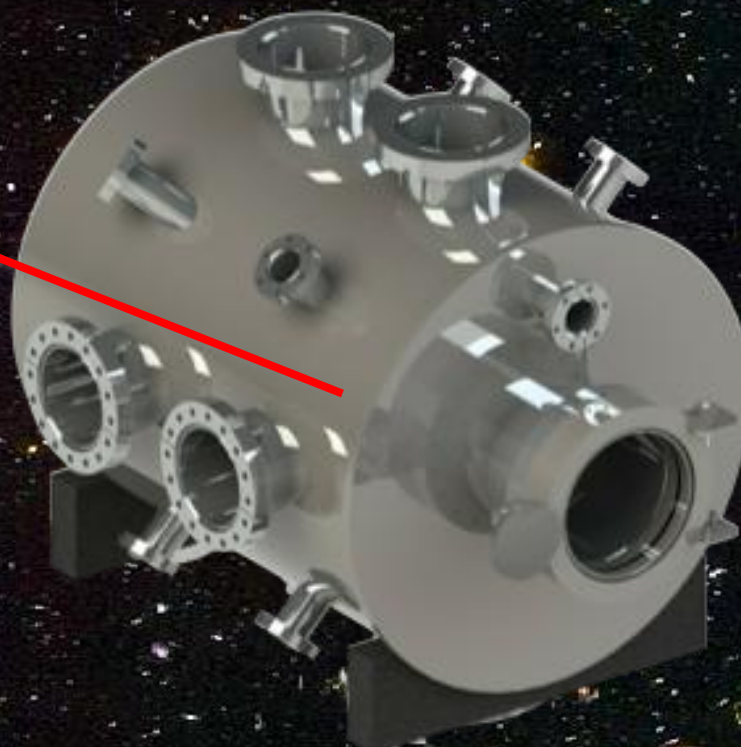
Radiation

Detection / monitoring samples

In situ μ Raman/UV-Vis

In situ QMS

Conventional chemical and biological
analysis



(INEspaço): U\$420,000.00



Universidade de São Paulo
Brasil

SPASA 2011

Sao Paulo Advanced School of Astrobiology
Making connections

Universidade de Sao Paulo
Instituto de Astronomia, Geofisica e Ciencias Atmosfericas

December 11 to 20, 2011
Sao Paulo, Brazil



120 international
participants
Fully financed
By FAPESP

Theoretical simulations and biosignatures

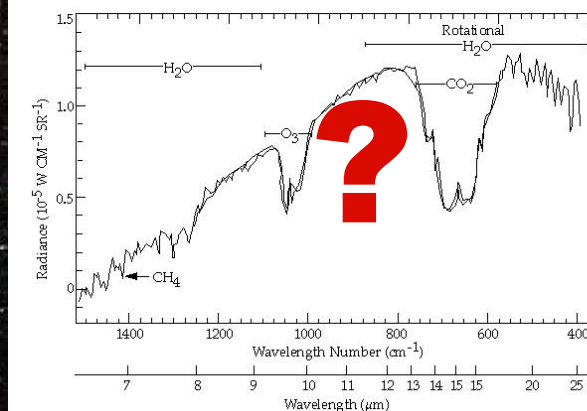
Astrophysical Environments

Atmosphere

Biology

Geology

Hydrology



Space / Planetary environments

Space

- Bio: meteors, comets
- Chem: ices, ISM

Planets and moons

Mars, Europa, Enceladus, Titan, etc

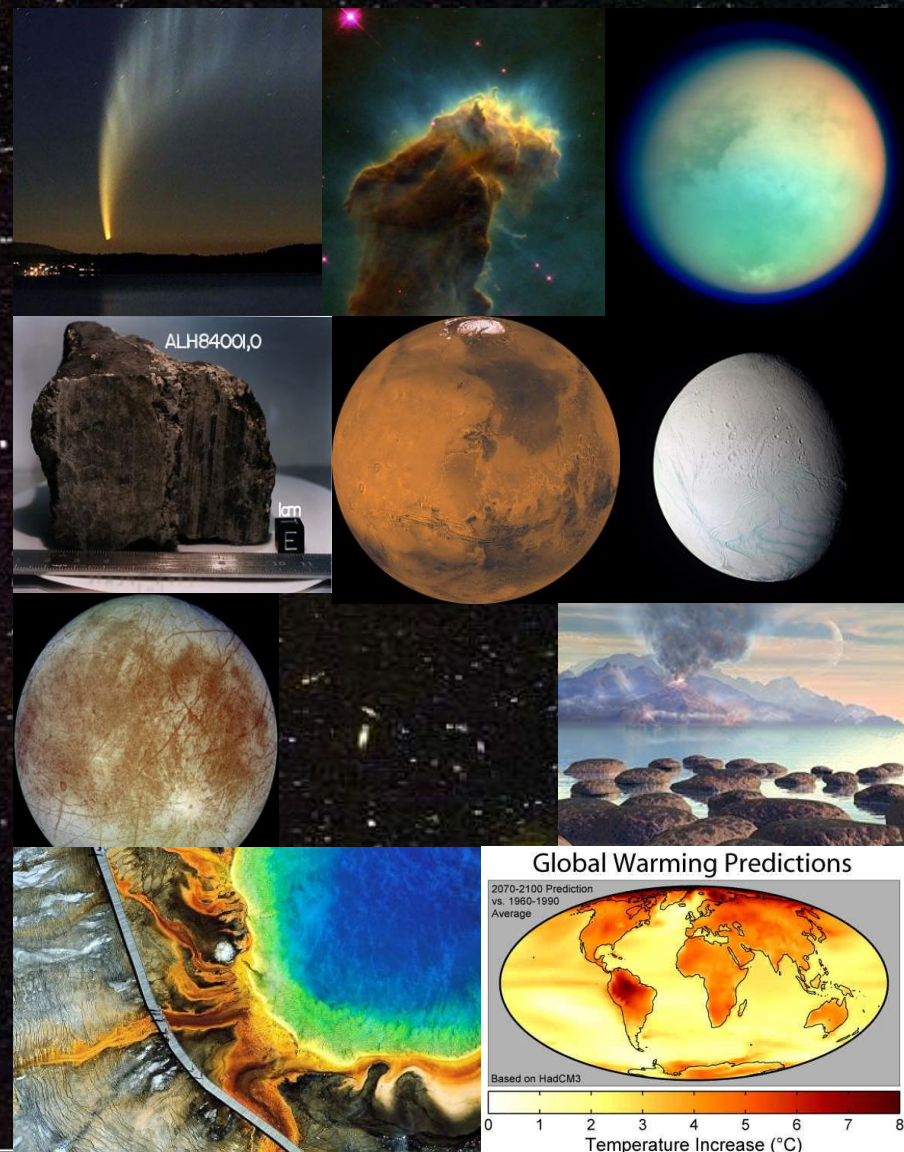
- Exo-planets

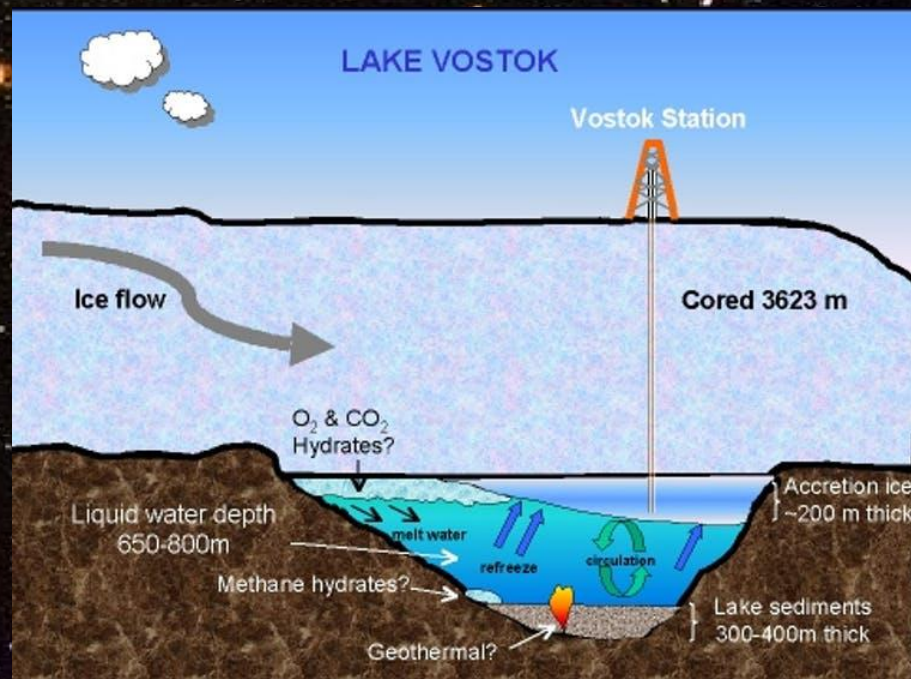
Earth

- Early-Earth: origin of life
- Present: extreme environments
- Future: biological responses do global changes

2MASSW J1207334-393254

778 mas
95 AU at 70 pc

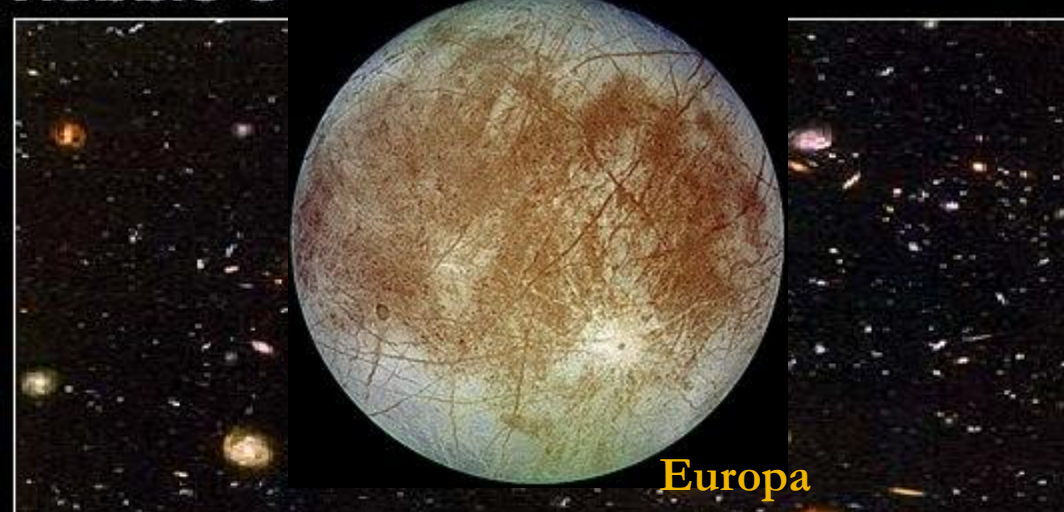




**Ecosistemas inteiros em lagos soterrados
baixo o gelo da Antártida (Europa?)**

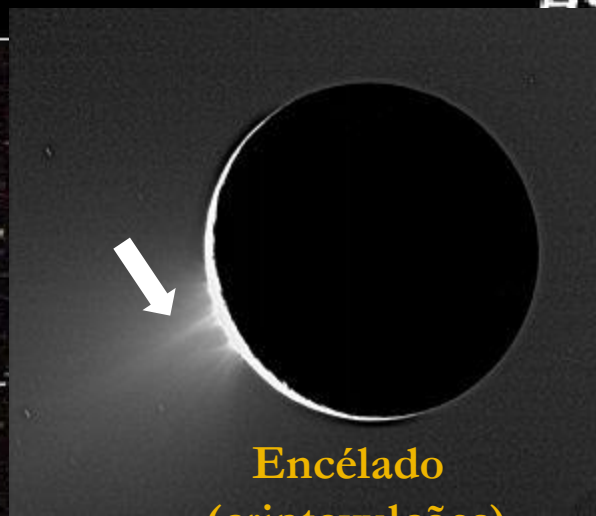


**Bactérias a ~3000 m de profundidade
que metabolizam sulfatos geoquímicos,
não dependem em absoluto da fotossíntese**



Europa

www.nature.com/scientificreports



Encélado
(criptovulcões)

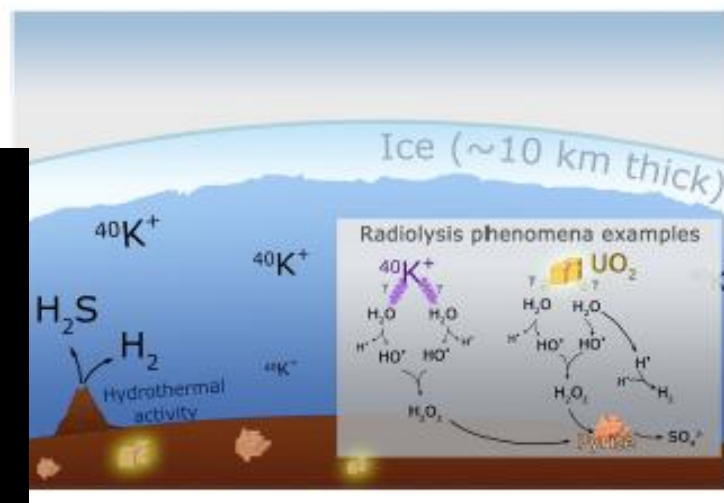
SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Microbial habitability of Europa sustained by radioactive sources

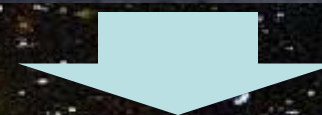
Thiago Altair^{1,4}, Marcio G. B. de Avellar², Fabio Rodrigues³ & Douglas Galante^{1,4}

Síntese: baseados na existência de bactérias que obtém energia reduzindo sulfatos achadas a 2.8 km de profundidade, os autores calculam a habitabilidade de Europa e Encélado, onde a radiólisis na água produz sulfatos desde que existam elementos radioativos suficientes



14 de Fevereiro de 2021: organismos
filtradores “ET” descobertos 900 m
abaixo do gelo antártico, longe
do fitoplâncton fotosintético

(viveriam em Europa?)



<https://www.iag.usp.br/astrologia/livros-e-apostilas>

ASTROBIOLOGIA UMA CIÊNCIA EMERGENTE

Organização

Douglas Galante
Evandro P. Silva
Fabio Rodrigues
Jorge E. Horvath
Marcio G. B. Avellar



USP

TIKINET

- 23 **CAPÍTULO 1**
ASTROBIOLOGIA
Estudando a vida no Universo
- 43 **CAPÍTULO 2**
A ORIGEM DOS ELEMENTOS
- 61 **CAPÍTULO 3**
ASTROQUÍMICA
A formação, a destruição e a busca de moléculas prebióticas no espaço
- 75 **CAPÍTULO 4**
PLANETAS HABITÁVEIS
Onde estão os lugares no Universo adequados ao nosso ou outros tipos de vida?
- 95 **CAPÍTULO 5**
QUÍMICA PREBIÓTICA
A química da origem da vida
- 115 **CAPÍTULO 6**
ORIGEM DA VIDA
Estudando a vida no Universo
- 137 **CAPÍTULO 7**
A EVOLUÇÃO DA VIDA EM UM PLANETA EM CONSTANTE MUDANÇA
- 155 **CAPÍTULO 8**
VIDA AO EXTREMO
A magnífica versatilidade da vida microbiana em ambientes extremos da Terra
- 173 **CAPÍTULO 9**
METABOLISMOS POUCO CONVENCIONAIS
- 197 **CAPÍTULO 10**
QUANDO OS ANIMAIS HERDARAM O PLANETA
- 217 **CAPÍTULO 11**
BUSCA DE VIDA FORA DA TERRA
Estudando o Sistema Solar
- 235 **CAPÍTULO 12**
LUAS GELADAS DO SISTEMA SOLAR
- 277 **CAPÍTULO 13**
BUSCA DE VIDA ALÉM DO SISTEMA SOLAR
- 293 **CAPÍTULO 14**
O SETI E O TAMANHO DO PALHEIRO...
Otimismo e pessimismo na busca de nosso alter ego extraterrestre
- 315 **CAPÍTULO 15**
FUTURO DA VIDA NA TERRA E NO UNIVERSO
- 341 **CAPÍTULO 16**
EXPLORAÇÃO INTERESTELAR
Motivações, sistemas estelares, tecnologias e financiamento

Conclusões

- É importante desenvolver uma *gestalt* para a Astrobiologia. Não basta a matriz disciplinar de cada um

* As leis da biologia *podem até* ser autônomas, mas nada impede que sejam expressáveis de forma matemática. Ainda estamos procurando estas leis e a conexão com o resto da biologia que conhecemos

- Há inúmeros problemas importantes onde a interdisciplinaridade da Astrobiologia se manifesta com clareza. É questão de escolher

SOYEZ RÉALISTES
DEMANDEZ
L'IMPOSSIBLE



**I'm smiling
because I don't know
what the hell is going on**