

# Neutrino telescopes

BigScience for Business, Nikhef

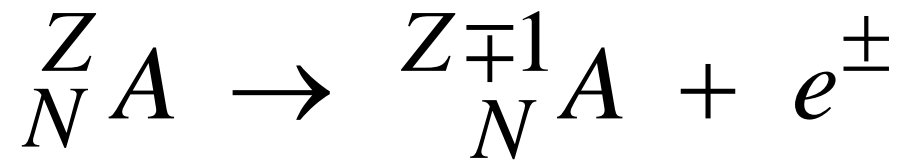
21 September

Maarten de Jong

[mjg@nikhef.nl](mailto:mjg@nikhef.nl)

# History of neutrino

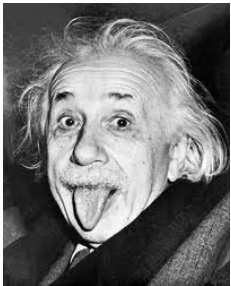
# 1920 Radio-active decay



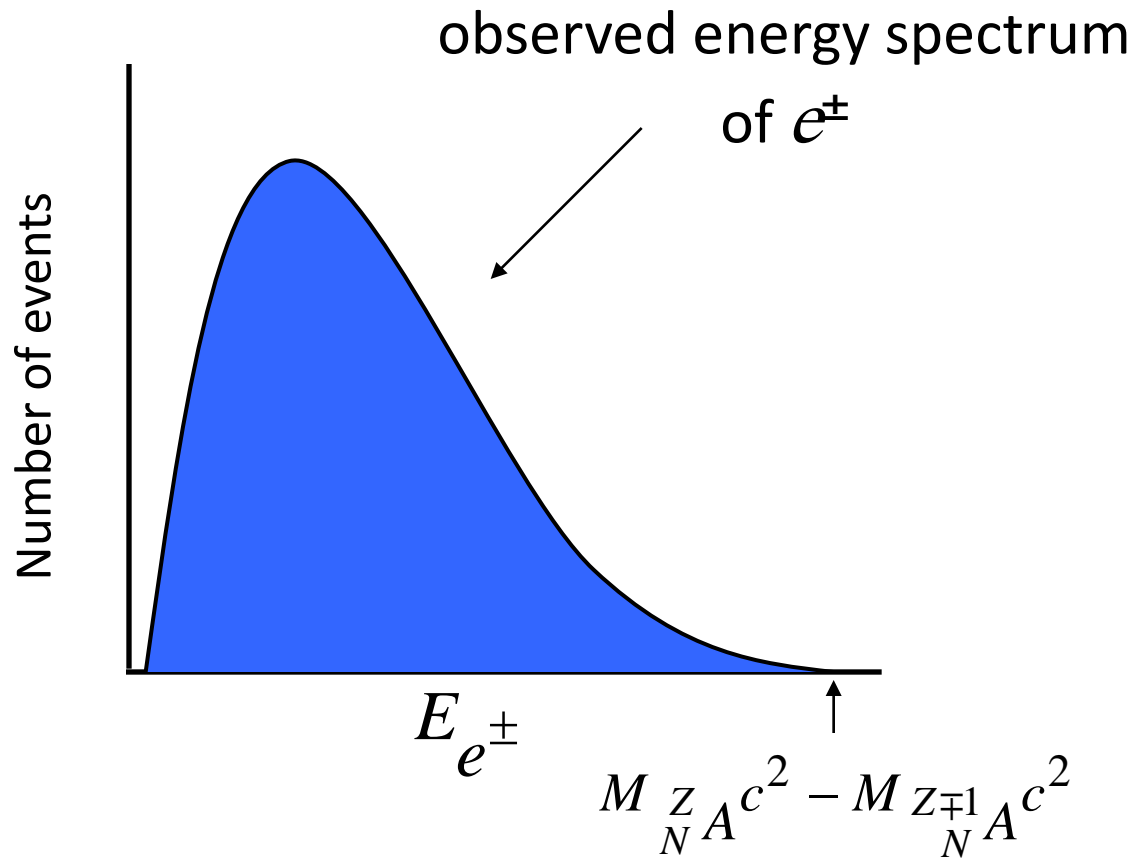
2-body decay?



$$E_{e^\pm} = M_{{}^Z_N A} c^2 - M_{{}^{Z\mp 1}_N A} c^2$$



# Radio-active decay (II)



Energy not conserved?

Original - Autograph of W. Pauli  
 Abschrtf/15.12.30

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der  
 Gouvernements-Tagung zu Tübingen.

Abschrift  
 Physikalisches Institut  
 der Eidg. Technischen Hochschule  
 Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930  
 Claristrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Überbringer dieser Zeilen, den ich baldmöglichst  
 anzufragen bitte, Ihnen das obige auseinanderzusetzen wird, so ist  
 angeht die "falschen" Statistik der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung, sowie  
 das kontinuierliche  $\beta$ -Spektrum auf einem verstellbaren Weg  
 verfallen um den "Machstein" (1) der Statistik und dem Energieerhalt  
 zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnte ein elektrisch neutrale  
 Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kerne enthalten  
 welche den Spin  $1/2$  haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und  
 sich von Lichtgeschwindigkeit ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie  
 nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen  
 dürfte von derselben Grössenordnung wie die Massenzahl sein und  
 jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse. Das kontinuierliche  
 $\beta$ -Spektrum wäre dann verständlich über der Annahme, dass beim  
 Zerfallfall ein Neutron zerfällt nach ein Neutron emittiert  
 wird, damit, dass die Masse der Energie von Neutron und Neutron  
 konstant ist.

Man handelt es sich weiter darum, welche Kräfte auf die  
 Neutronen wirken. Das wahrscheinlichste Modell für das Neutron scheint  
 mir aus wellenmechanischen Gründen (obwohl weiss der Überbringer  
 dieser Zeilen) dieses zu sein, dass das ruhende Neutron ein  
 magnetischer Dipol von einem gewissen Moment ist. Die Experimente  
 verlieren wohl, dass die ionisierende Wirkung eines solchen Neutrons  
 nicht grösser sein kann, als die eines gamma-Strahls und darf dann  
 $\Delta$  wohl nicht grösser sein als  $e \cdot (10^{11})$  cm.

Ich weiss nicht, wie weit Sie aber nicht, wenn Sie diese Idee  
 zu veröffentlichen und werde mich sehr freuen, wenn Sie, liebe  
 Radioaktive, mir die Frage, wie es um den experimentellen Nachweis  
 eines solchen Neutrons stände, wenn dieses ein elementares oder etwa  
 ideal grösseres Durchdringungsvermögen besäße, wie ein  
 gamma-Strahl.

Ich gebe zu, dass mein Vorschlag vielleicht von vornherein  
 wenig wahrscheinlich erscheinen wird, weil man die Neutronen, wenn  
 sie existieren, wohl schon längst gesehen hätte. Aber vor mir liegt  
 genau und der Ernst der Situation beim kontinuierlichen  $\beta$ -Spektrum  
 wird durch einen Ausspruch meines verehrten Vorgängers in Bern,  
 Herrn Debye, beleuchtet, der mir kürzlich in Basel gesagt hat:  
 "Daran soll man es besten gar nicht denken, sowie es die neuen  
 Steuern." Darum soll man jeden Weg zur Rettung ernstlich diskutieren.  
 Auch diese Radioaktiven, erlauben und erlauben. Leider kann ich nicht  
 persönlich in Tübingen erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht  
 von 6. zum 7. Dez. in Zürich stattfindenden Milles hier unerkündet  
 bin. - Mit vielen Grüssen an Sie, sowie an Herrn Neut, Ihren  
 unterfertigten Diener

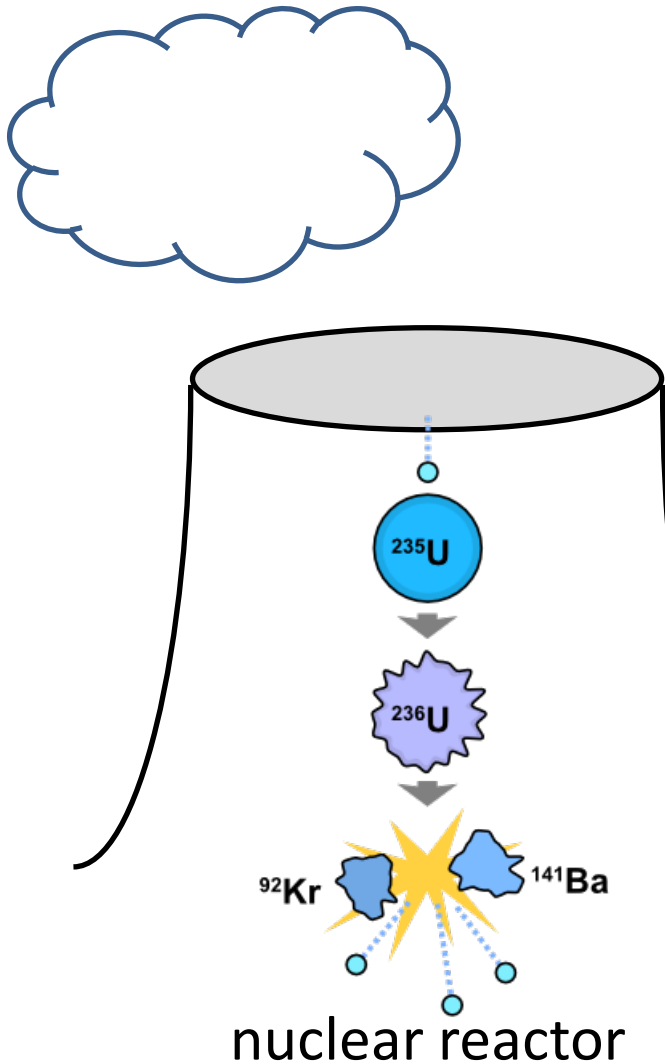
gen. W. Pauli

- Dear radioactive ladies and gentlemen,
- I may have found a solution to the energy crisis in radioactive decays.
- ... the existence of electrically neutral particles –which I call neutrons– in the atomic nucleus.
- The measured spectrum can be understood if such a neutral particle escapes together with the electron such that the total energy is conserved.
- But until now I did not dare to publish this idea and I ask you –radioactive people– whether it is possible to detect this particle experimentally.
- I admit that this idea is unlikely because the neutrons –if they exist– would have been found already.
- So, dear radioactive people, think about this idea and judge.

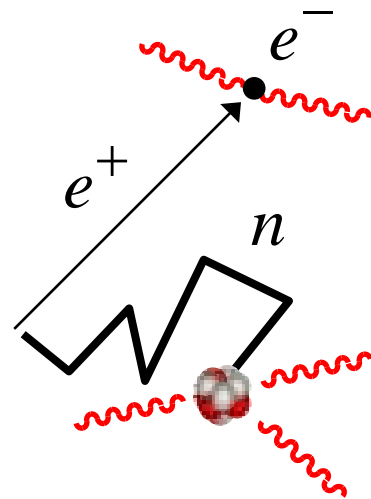
# 1950 – Reines & Cowan “Poltergeist”, Savannah River



Experimental proof of  
the existence of neutrinos



$\bar{\nu}_e$





Neutrino  
astronomy

# Neutrino astronomy

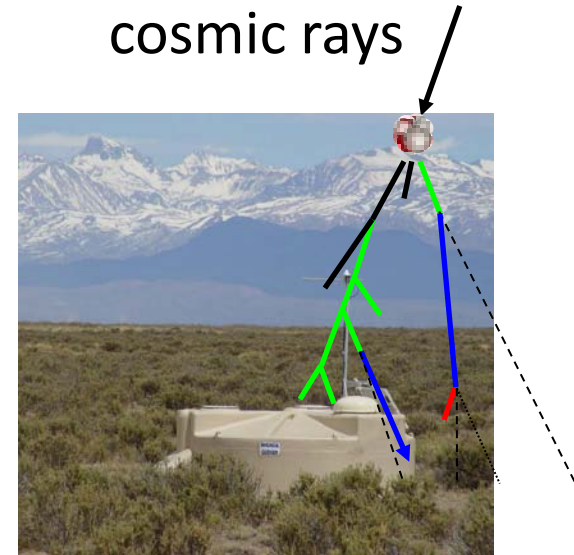
space travel



astronomy



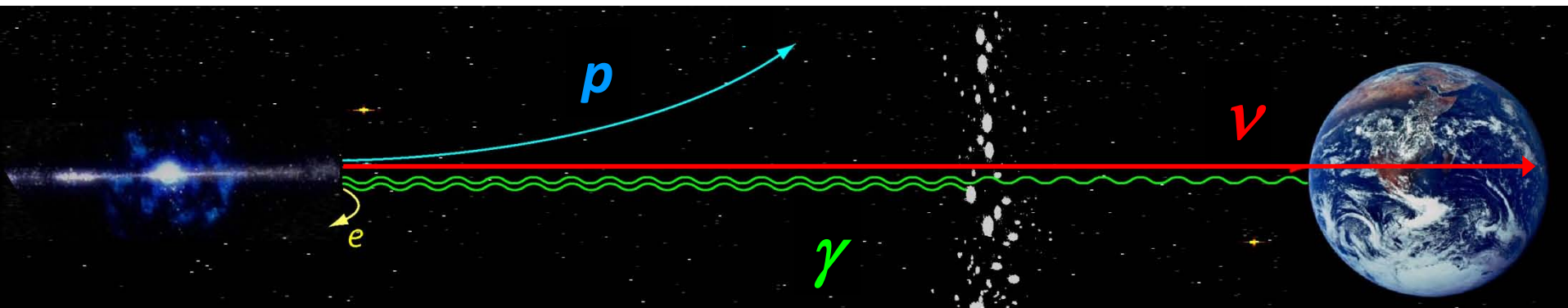
cosmic rays



travel time

absorption

bending



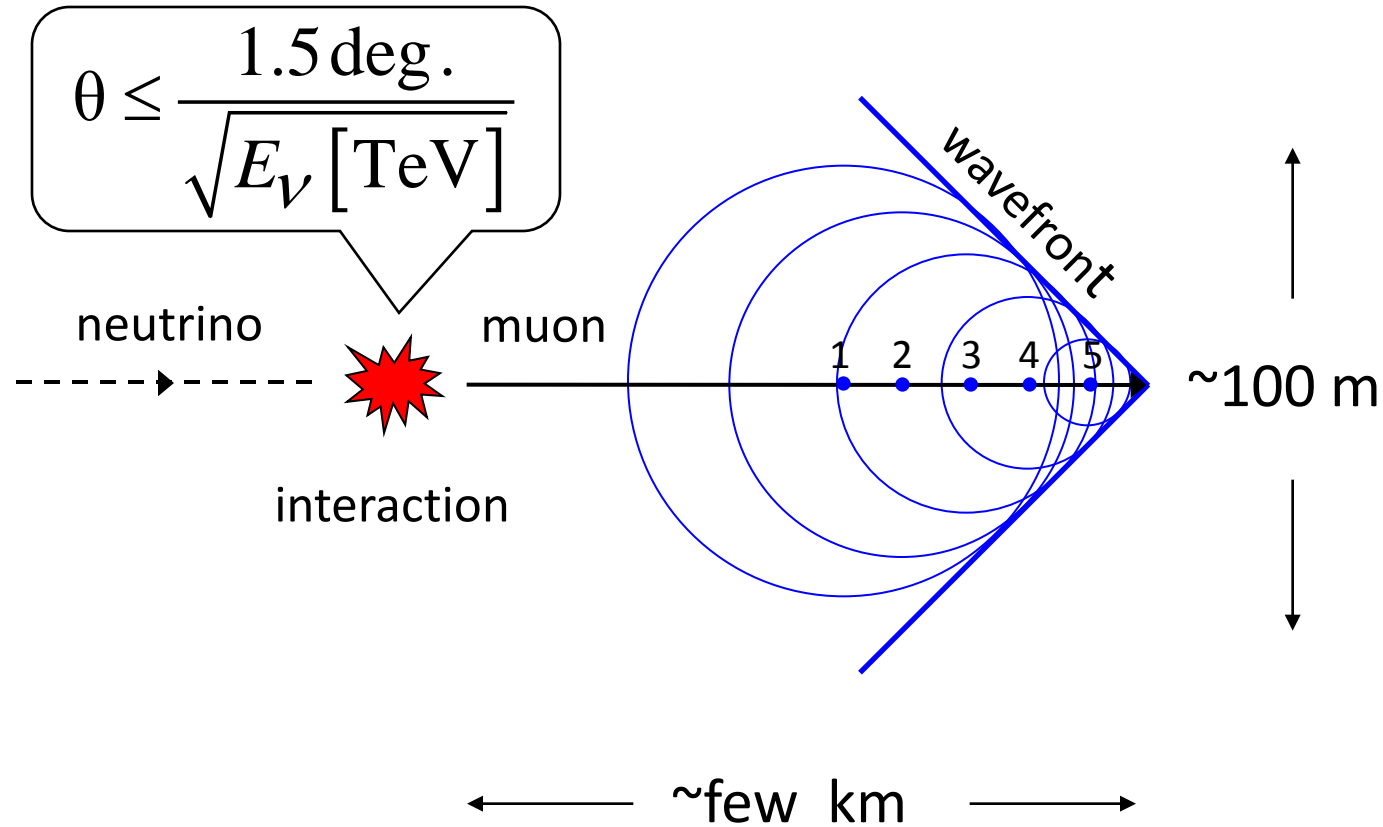


1960 Markov's idea:

Use sea water as target/detector

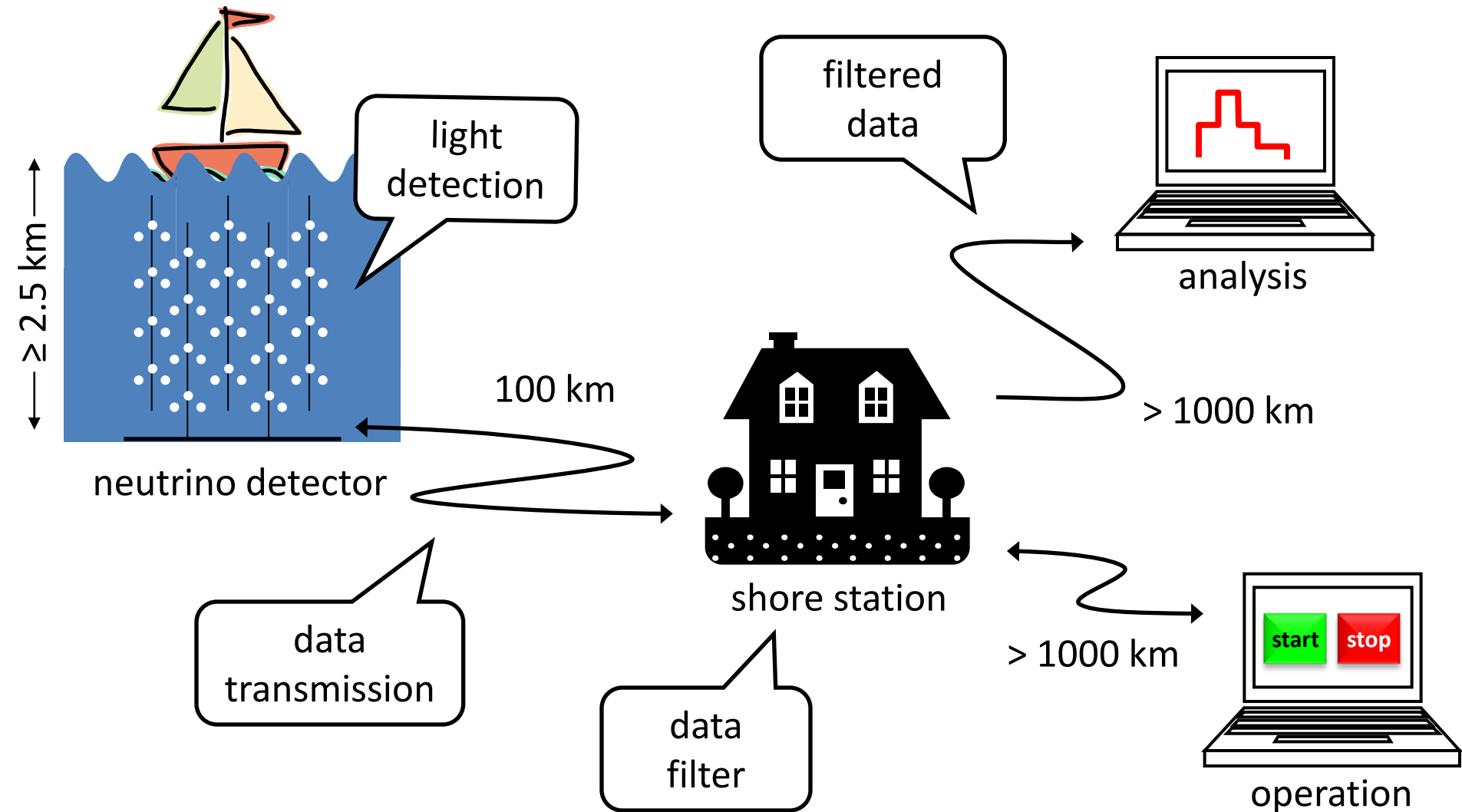
- range of muon
- detect Cherenkov light
- transparency of water

# How?



muon travels with speed of light (300,000 km/s)  $\rightarrow$  *ns – km*

# Architecture

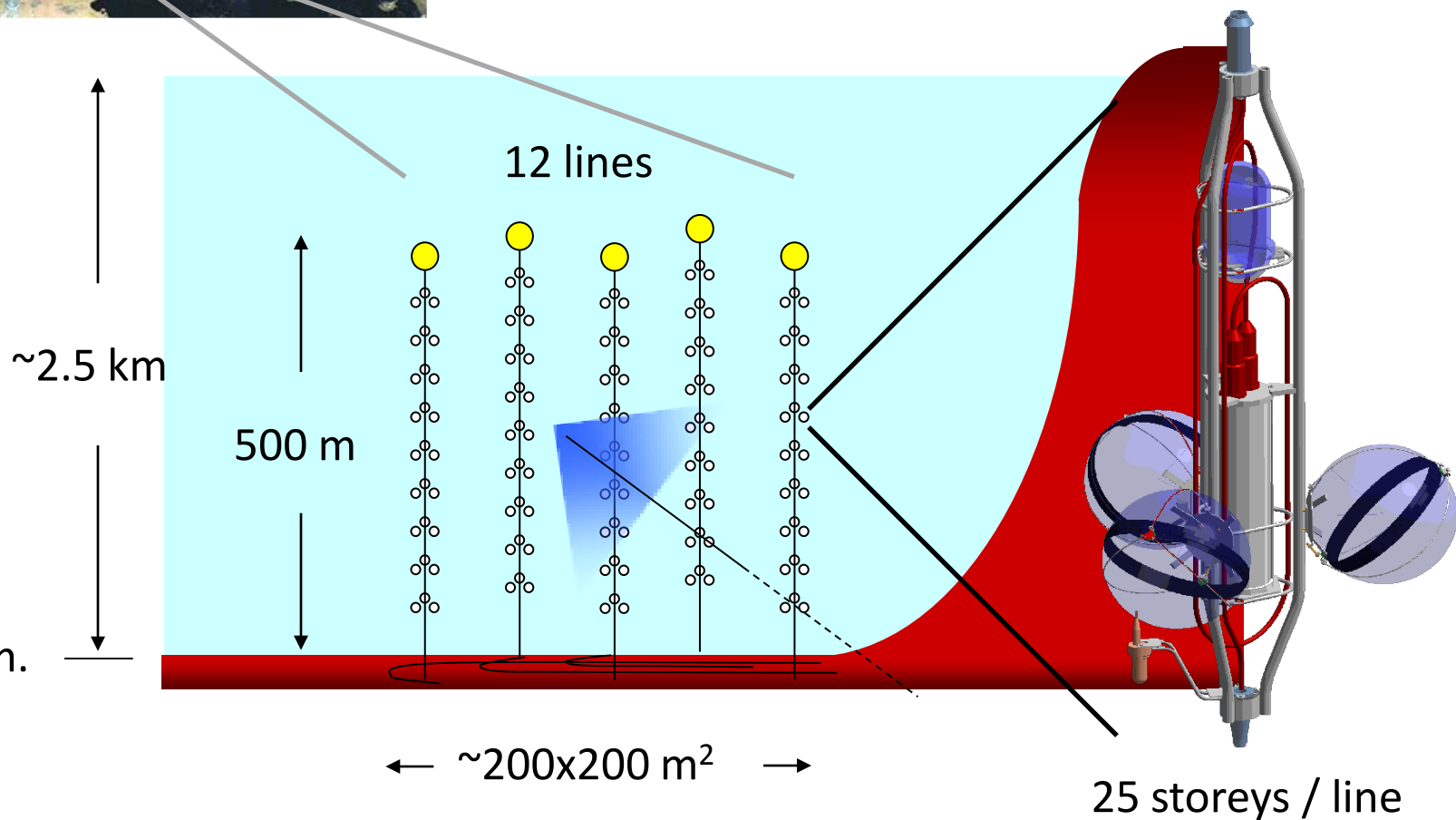
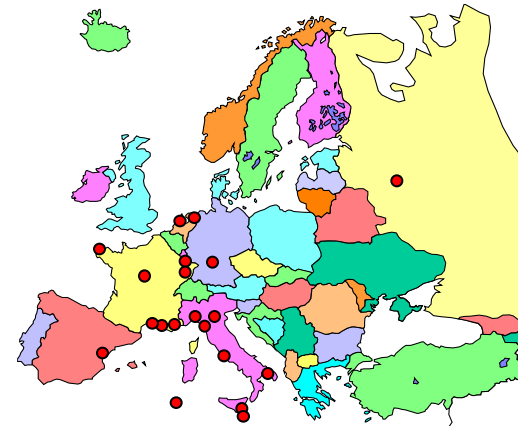


# Antares

Prototype neutrino telescope



- ~200 persons
- 25 M€
- 6 countries
- ~40 km off the coast near Toulon



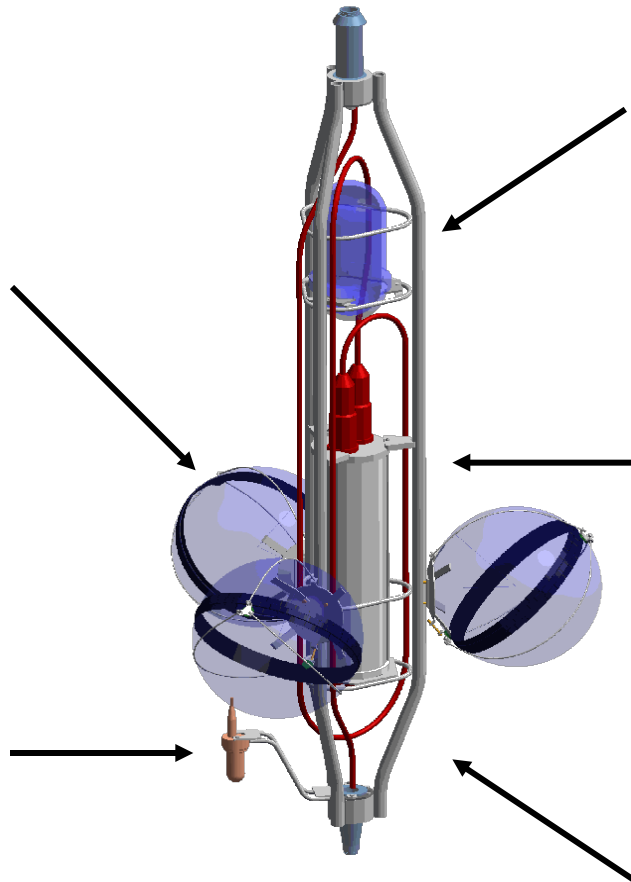
# 12 x 25 = 300 detection units



10" PMT  
*photon detection*



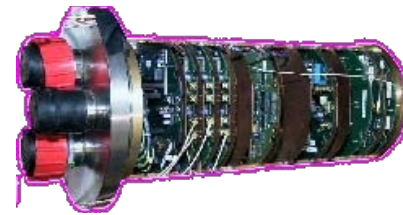
Hydrophone  
*acoustic positioning*



← ~1 m →



Optical beacon  
*timing calibration*

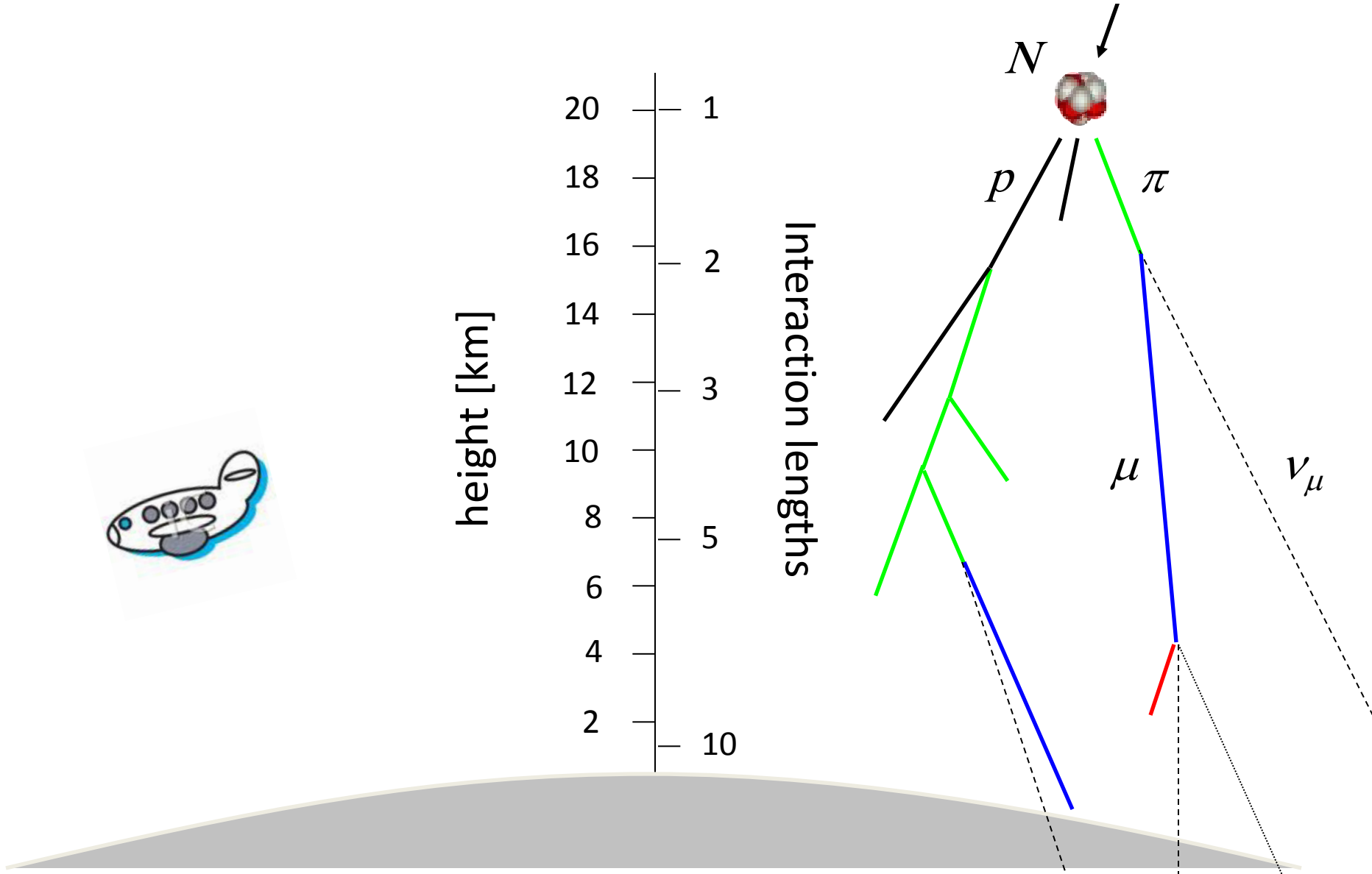


Electronics  
*readout*

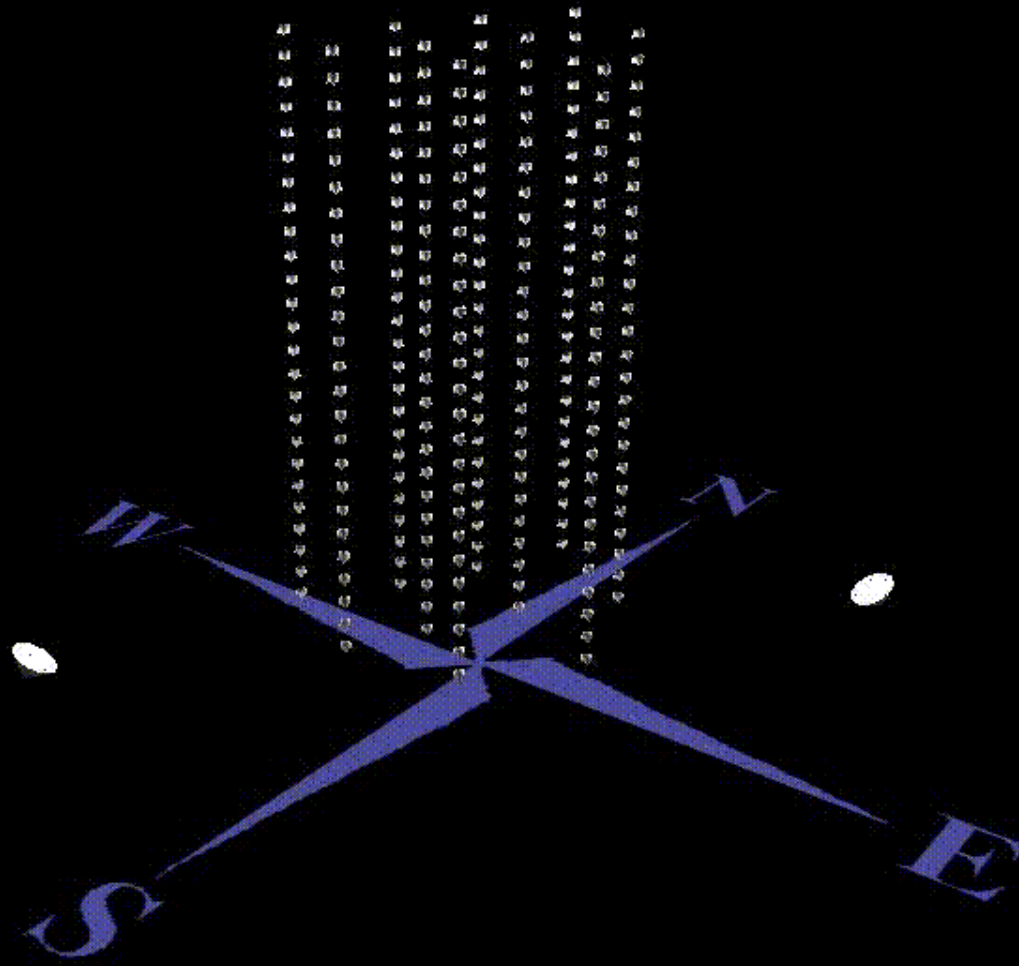
titanium frame  
*mechanical support*

/ p

# Atmosphere seen by cosmic rays



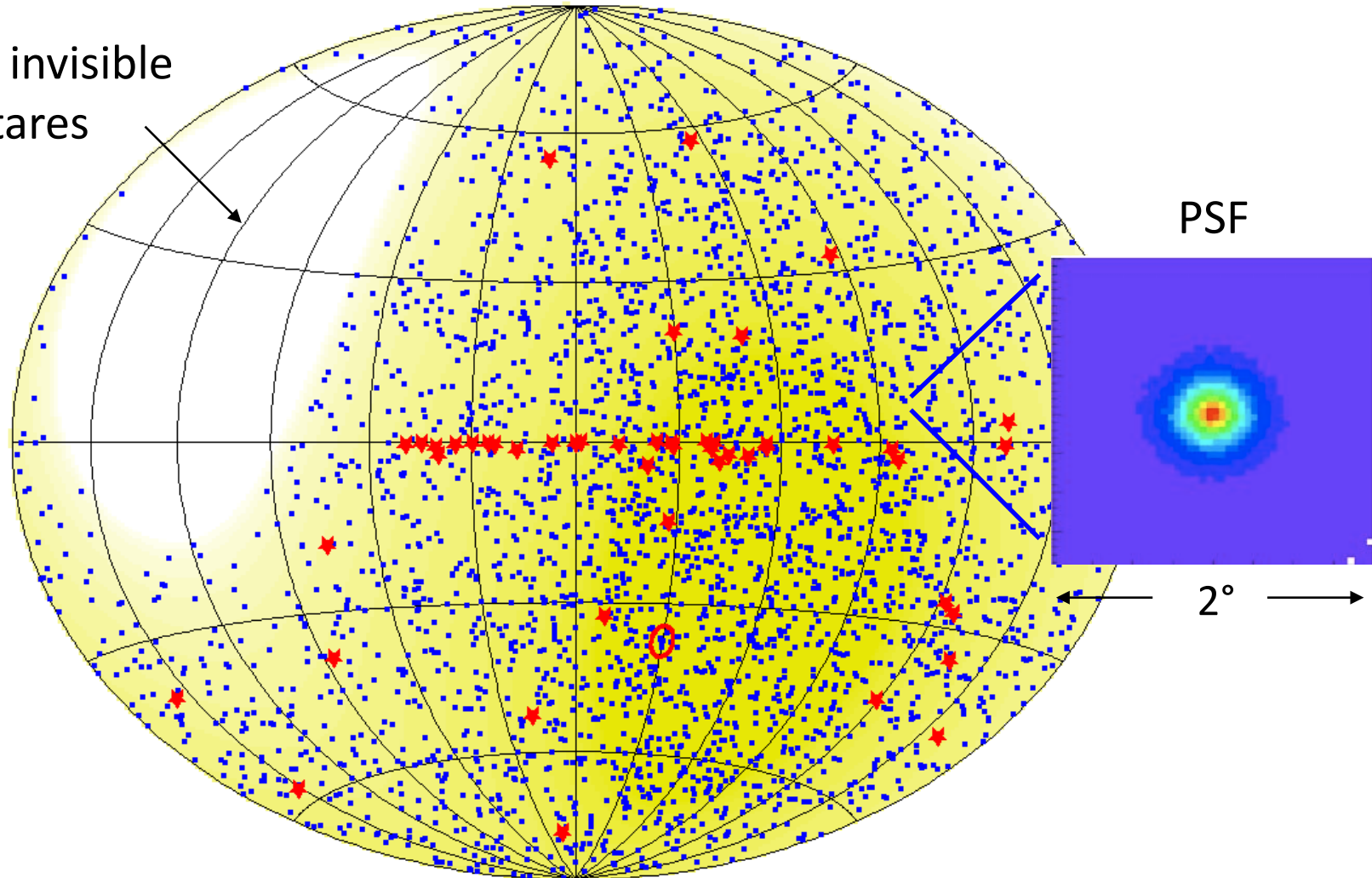
30 March 2008 11:10





# Neutrino sky map (2007–2010)

part of sky invisible  
to Antares



Limits on neutrino fluxes, world's best for some specific sources.

# KM3NeT

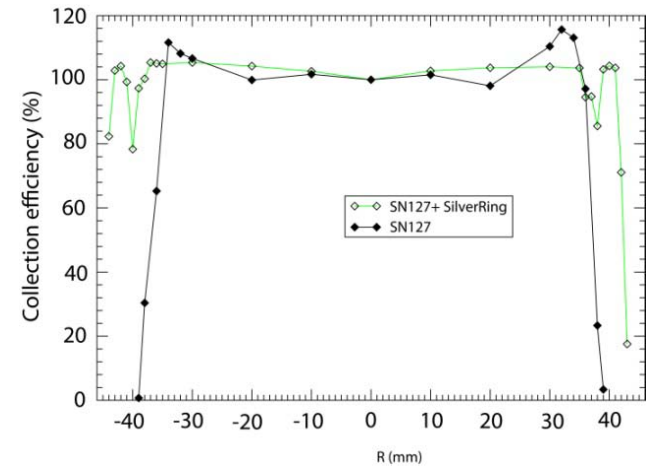
Next generation neutrino telescope

# Optical module



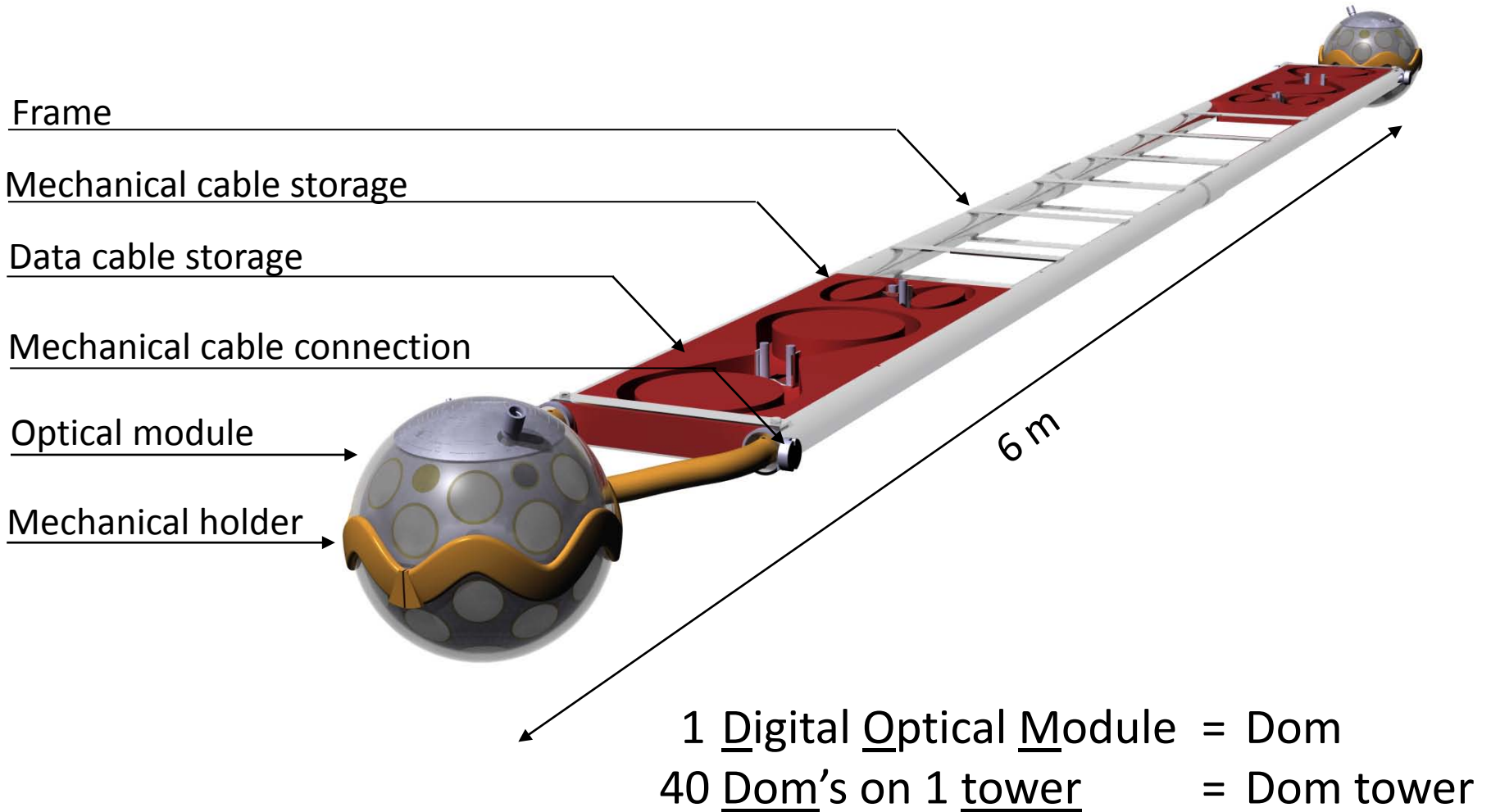
31 x 3" PMT

concentrator ring



increase of photocathode area by 20–40%

# Storey





# KM3NeT in a nut shell

- deep-sea infrastructure
  - channels
    - 400,000 PMTs
    - 1000 hydrophones, ACDP, seismometers, etc.
  - power
    - 100 kW
  - output
    - 100 GB/s
- network
  - passive, point-to-point, optical fiber with amplification
  - new Ethernet standard
    - Precision-Time-Protocol (*"White Rabbit"*)
- operation
  - 24h/day, 365 days/year, 10 years without maintenance
  - data storage
    - 1 PB / year

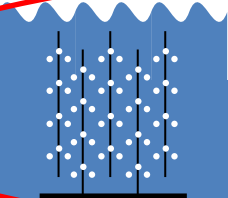
# signal / noise



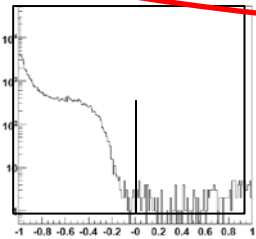
$$10 \text{ kHz} \times 400,000 = 4 \text{ GHz}$$



$$310 \text{ kHz} \times 13,000 = 4 \text{ GHz}$$

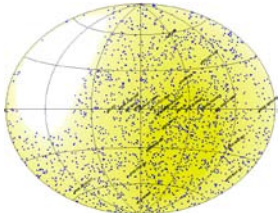


$$0.25 \text{ kHz} \times 1 = 250 \text{ Hz}$$



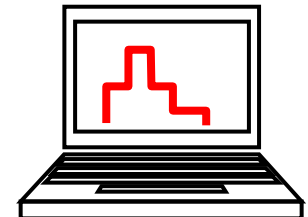
neutrinos

$$10^{-3} \text{ Hz}$$

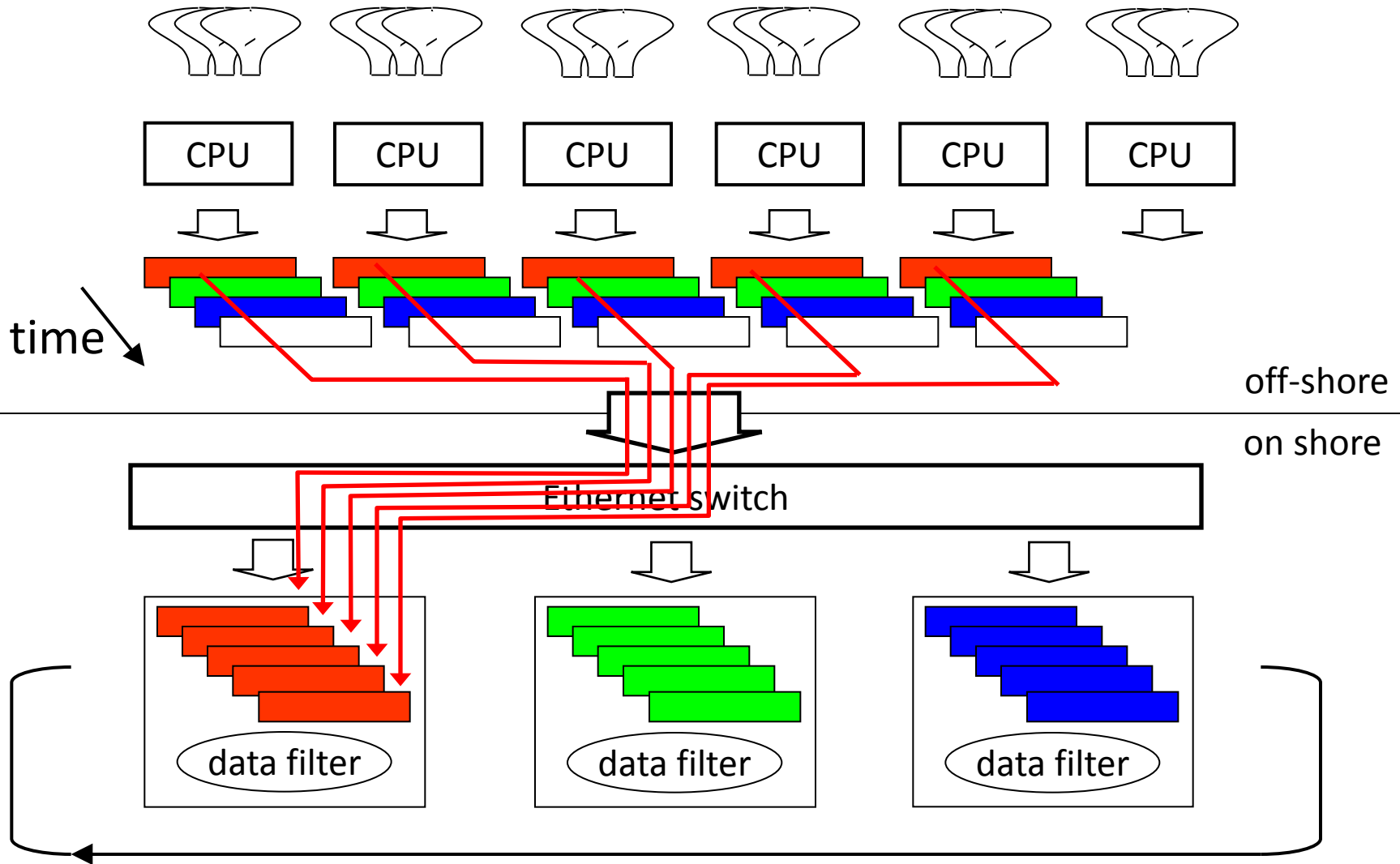


point source

$$10^{-7} \text{ Hz}$$

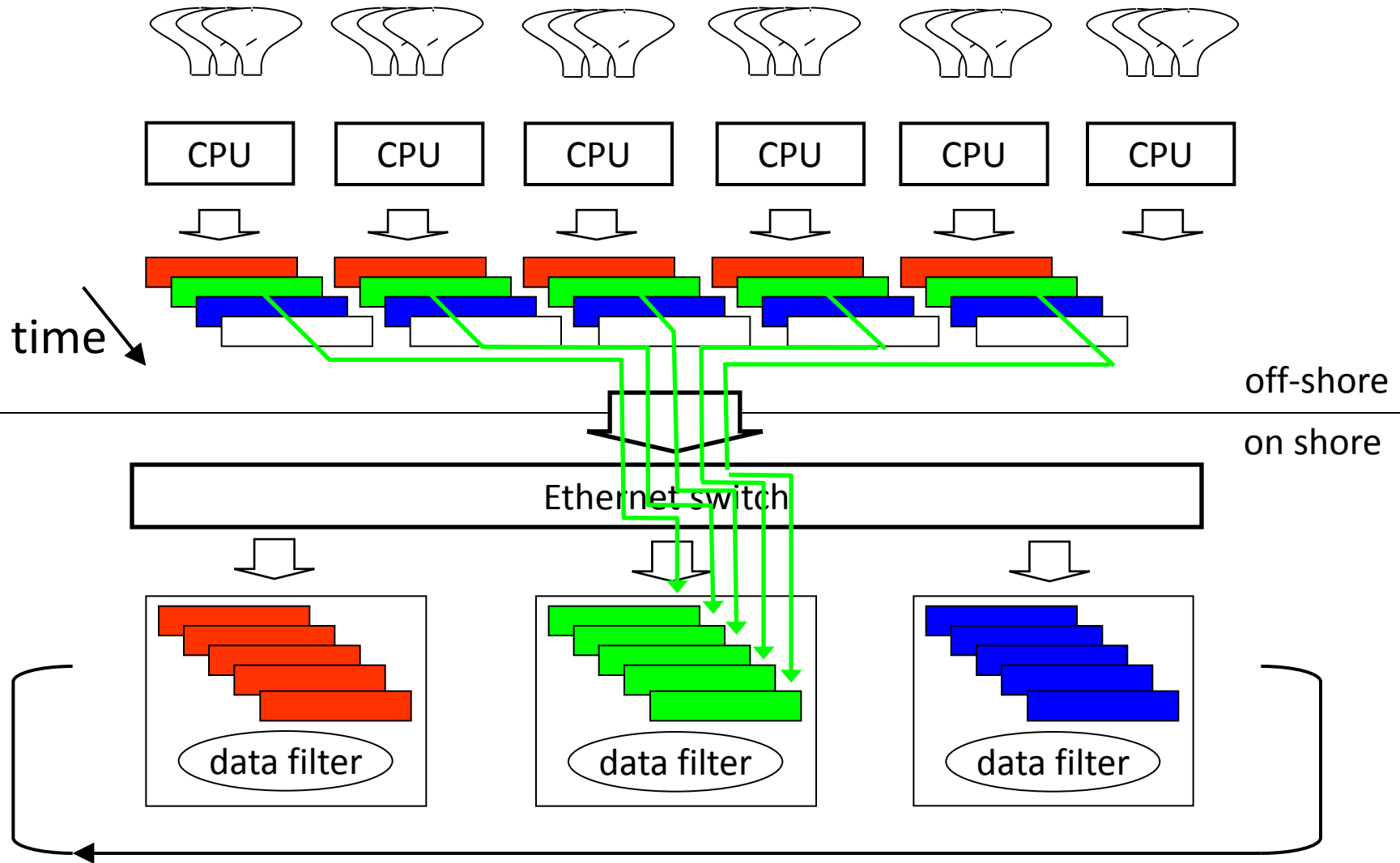


# Real-time computing

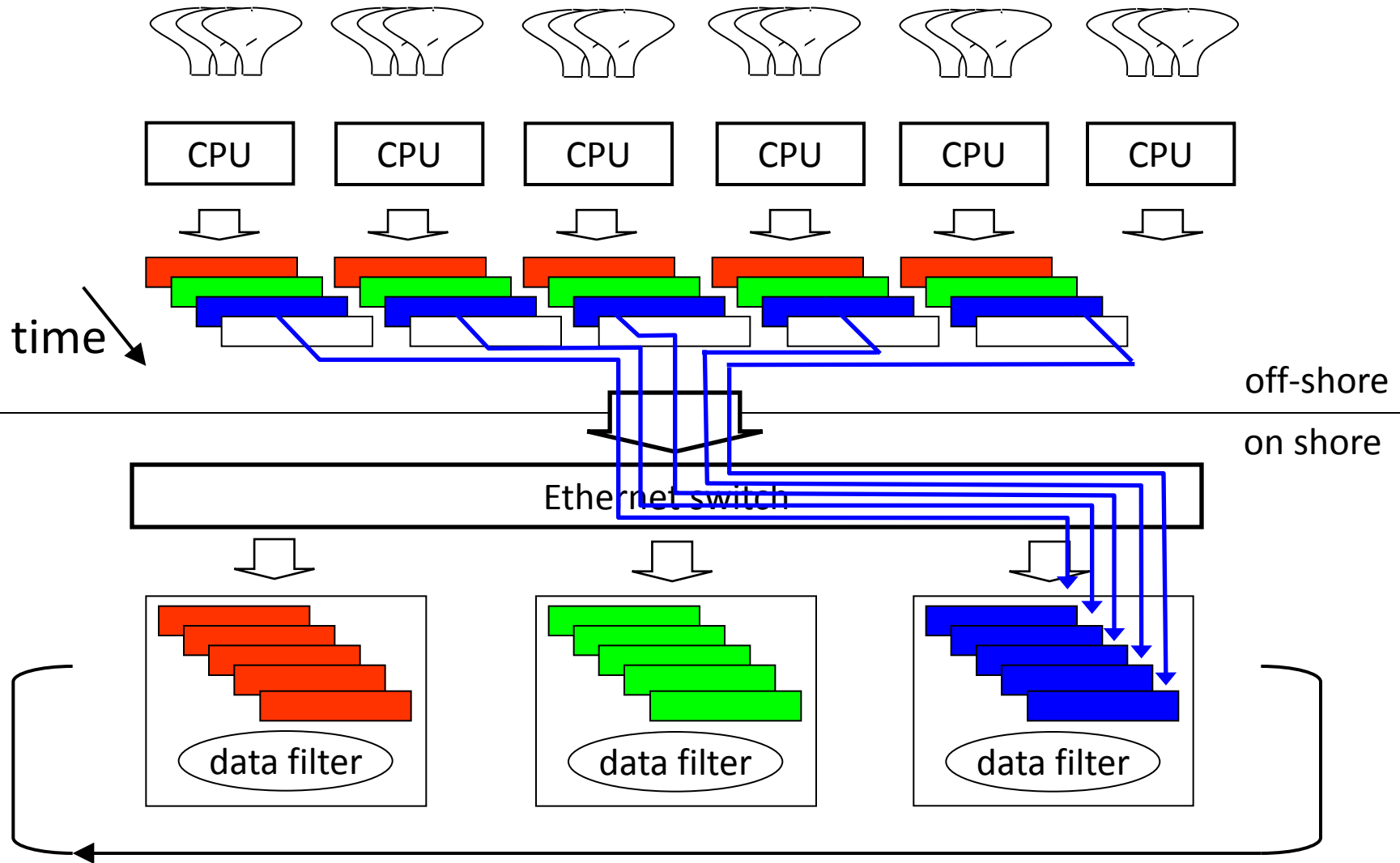




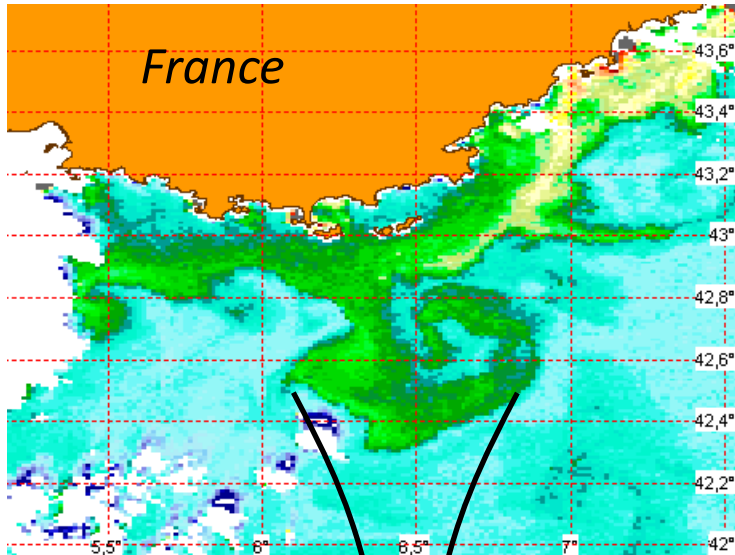
# Real-time computing



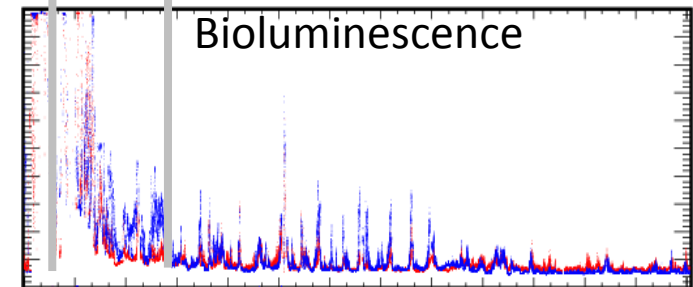
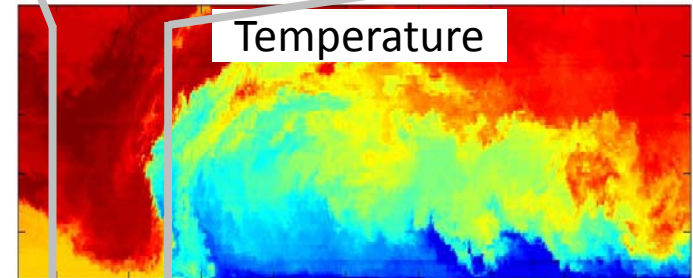
# Real-time computing



# Earth & Sea sciences



short lived (rare) events  
dominate deep-sea life  
↓  
permanent observatory



*sudden  
Eddie currents*

food supply

observatory

time profile

# Summary & outlook

- Neutrino astronomy is an emerging field at the intersection of particle physics and traditional astronomy
  - several neutrino detectors operational world wide
  - in Europe, Antares prototype completed in 2008
- Deep-sea is actively explored for large research infrastructures
  - construction of KM3NeT is planned in the coming years
  - synergy between different sciences
  - interesting technological challenges

*Neutrinos, they are very small.  
They have no charge and have no mass  
And do not interact at all.  
The earth is just a silly ball  
To them, through which they simply pass,  
Like dust maids through a drafty hall  
Or photons through a sheet of glass.  
They snub the most exquisite gas,  
Ignore the most substantial wall,  
Cold-shoulder steel and sounding brass,  
Insult the stallion in his stall,  
And scorning barriers of class,  
Infiltrate you and me! Like tall  
And painless guillotines, they fall  
Down through our heads into the grass.  
At night, they enter at Nepal  
And pierce the lover and his lass  
From underneath the bed - you call  
It wonderful; I call it crass.*

John Updike