

Neutrino telescopes

BigScience for Business, Nikhef

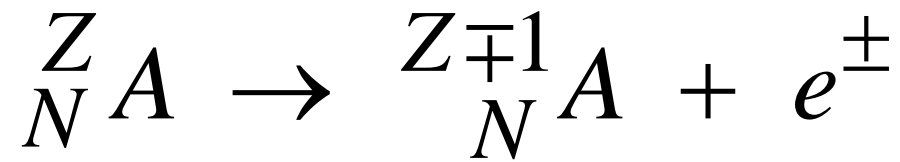
21 September

Maarten de Jong

mjg@nikhef.nl

History of neutrino

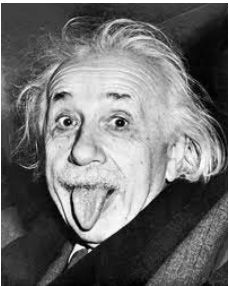
1920 Radio-active decay



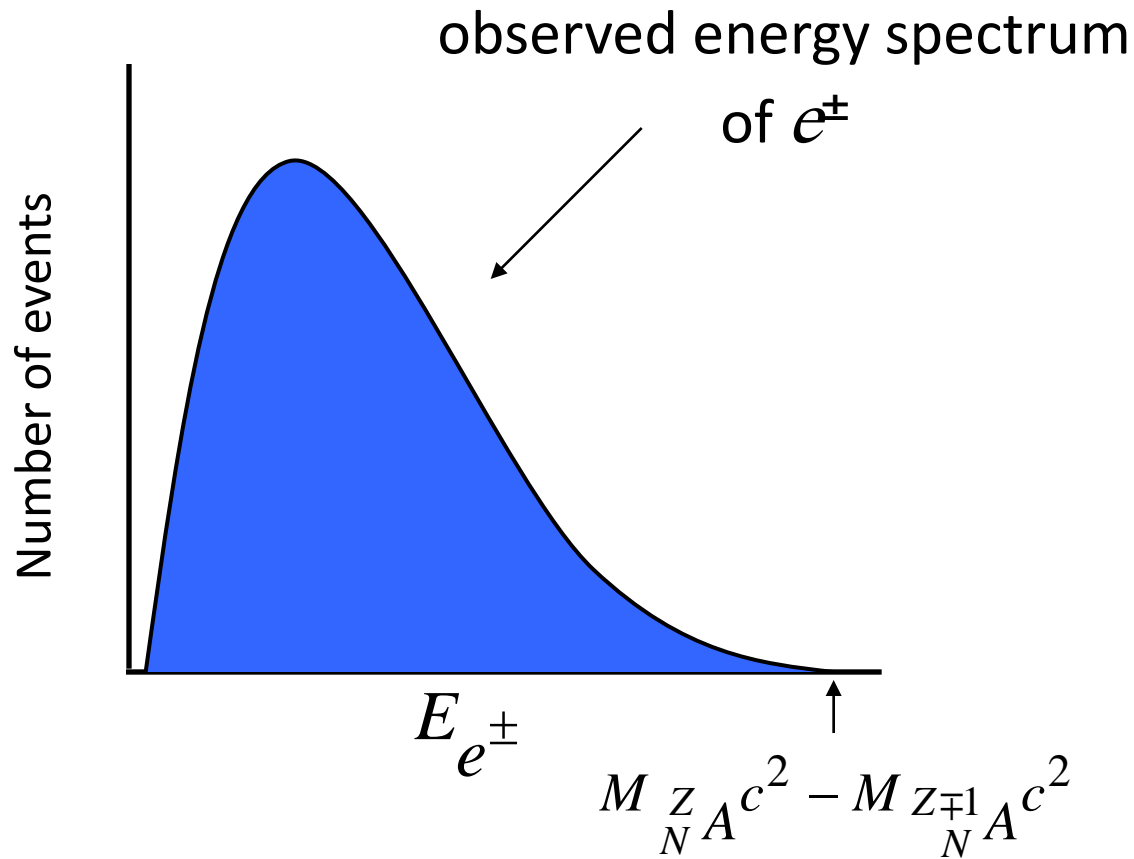
2-body decay?



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



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, bin ich
 angesichts der "falschen" Statistik der α - und β -Strahlung, sowie
 des kontinuierlichen β -Spektrums auf einen verabschiedeten Lösungsweg
 verfallen, um dem "Machteil" (1) der Statistik und dem Energieerhalt
 zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale
 Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren,
 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
 β -Spektrum wäre dann verständlich, wenn der Kern, wenn kein
 Neutron vorhanden ist, ein Neutron erzeugt und ein Neutron vernichtet
 wird, d. h. 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
 μ wohl nicht grösser sein als $e \cdot (10^{-13})$ cm.

Ich weiss nicht, wie weit Sie aber nicht, wenn Sie diese Idee
 zu diskutieren 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 besäze, wie ein
 gamma-Strahl.

Ich gebe zu, dass mein Lösungsweg vielleicht von vornherein
 wenig wahrscheinlich erscheint, weil man die Neutronen, wenn
 sie existieren, wohl schon längst gesehen hätte. Aber vor mir liegt
 genau und der Ernst der Situation beim kontinuierlichen β -Spektrum
 wird durch einen Ausspruch meines verehrten Vorgängers im Amt,
 Herrn Debye, beleuchtet, der mir kürzlich in Basel gesagt hat:
 "Denn soll man es besten gar nicht suchen, 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

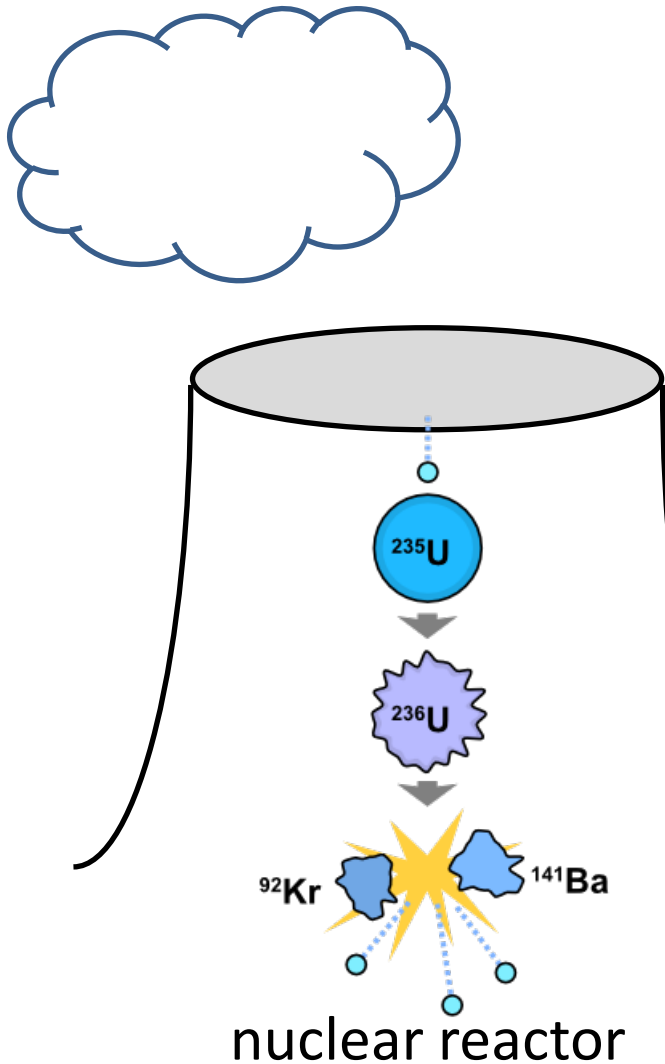
gen. W. Pauli

- 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.

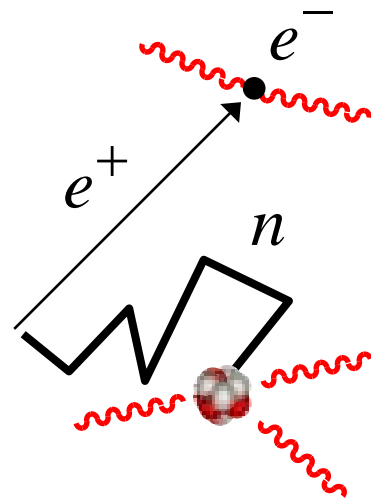
1950 – Reines & Cowan “Poltergeist”, Savannah River



Experimental proof of
the existence of neutrinos



$\bar{\nu}_e$





Neutrino
astronomy

Neutrino astronomy

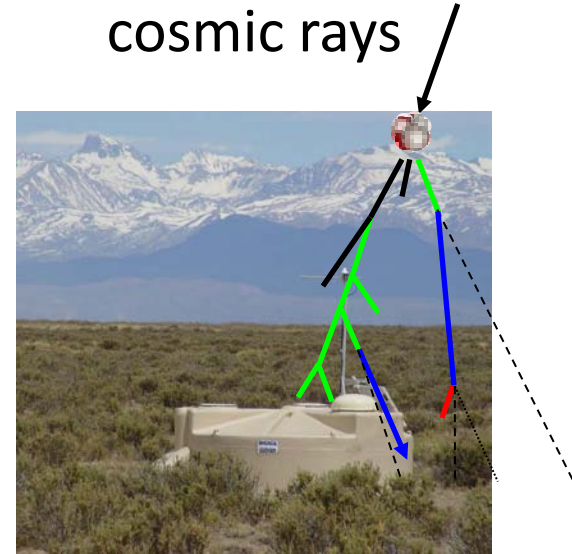
space travel



astronomy



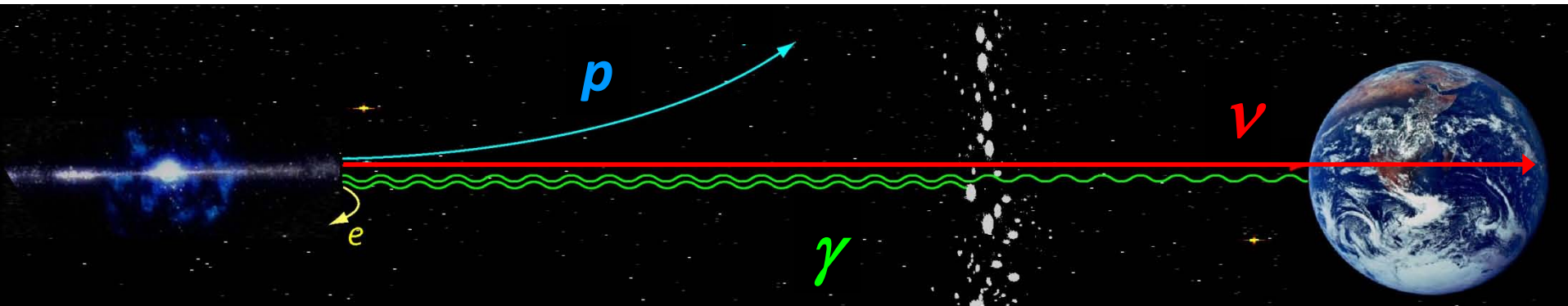
cosmic rays



travel time

absorption

bending

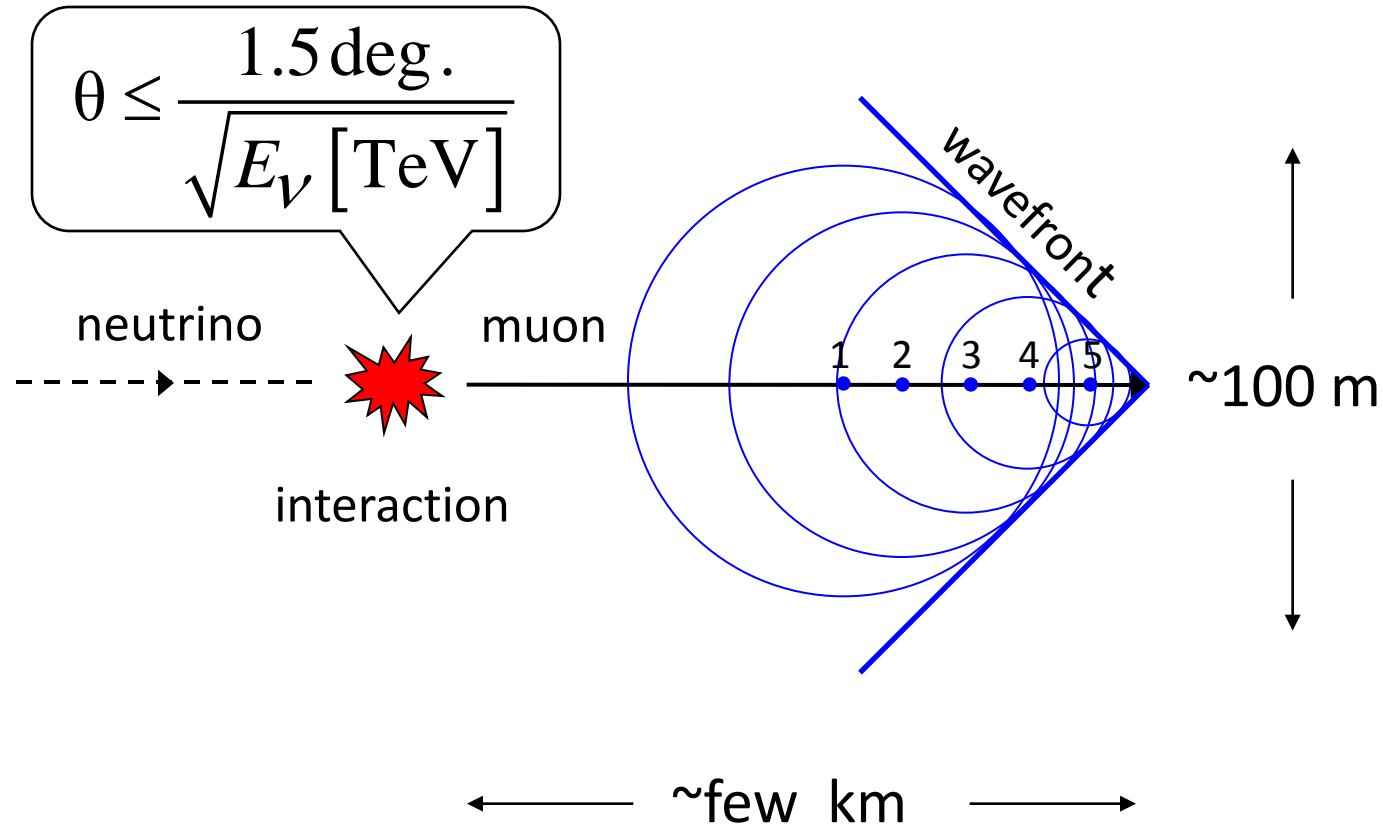


1960 Markov's idea:

Use sea water as target/detector

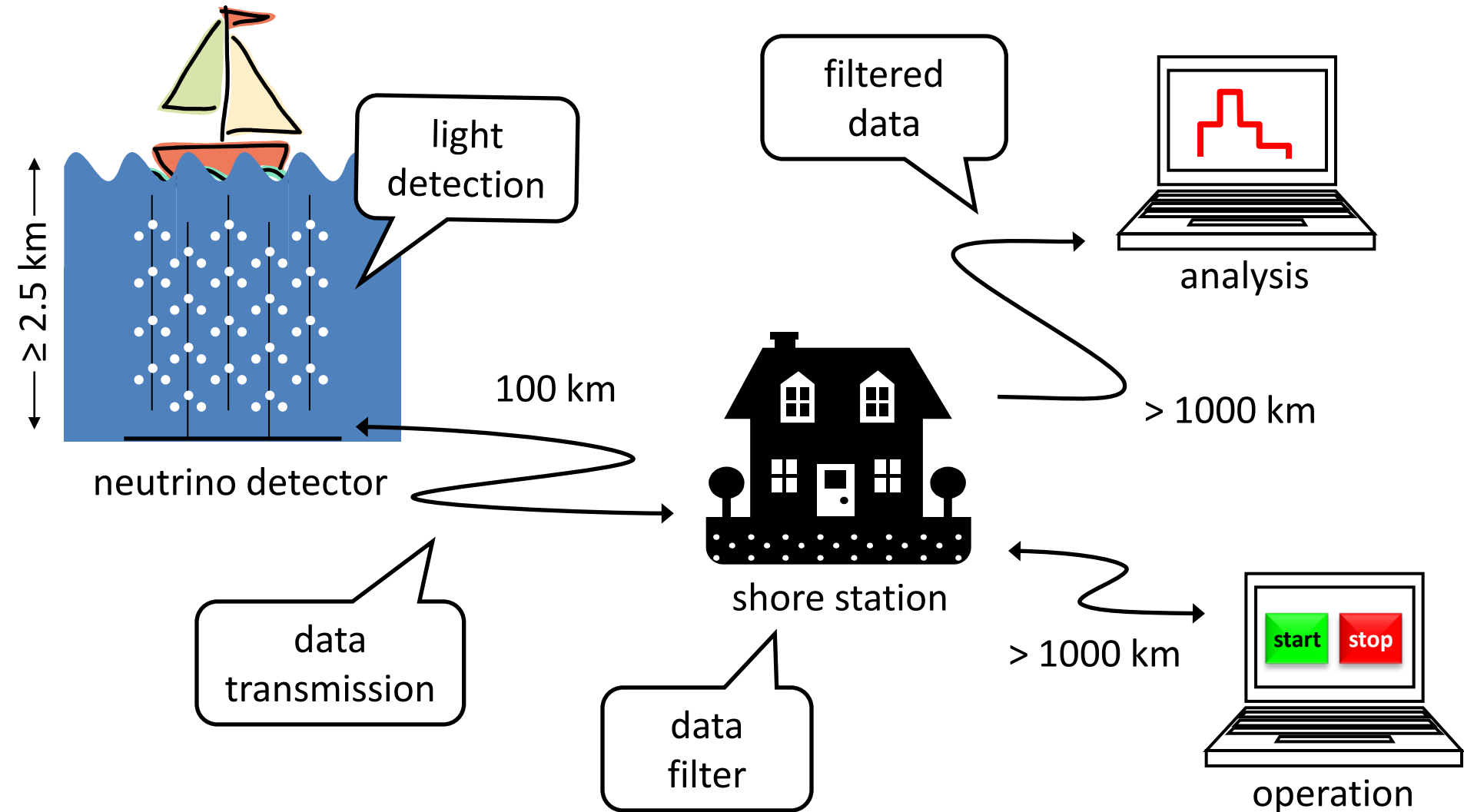
- range of muon
- detect Cherenkov light
- transparency of water

How?



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

Architecture

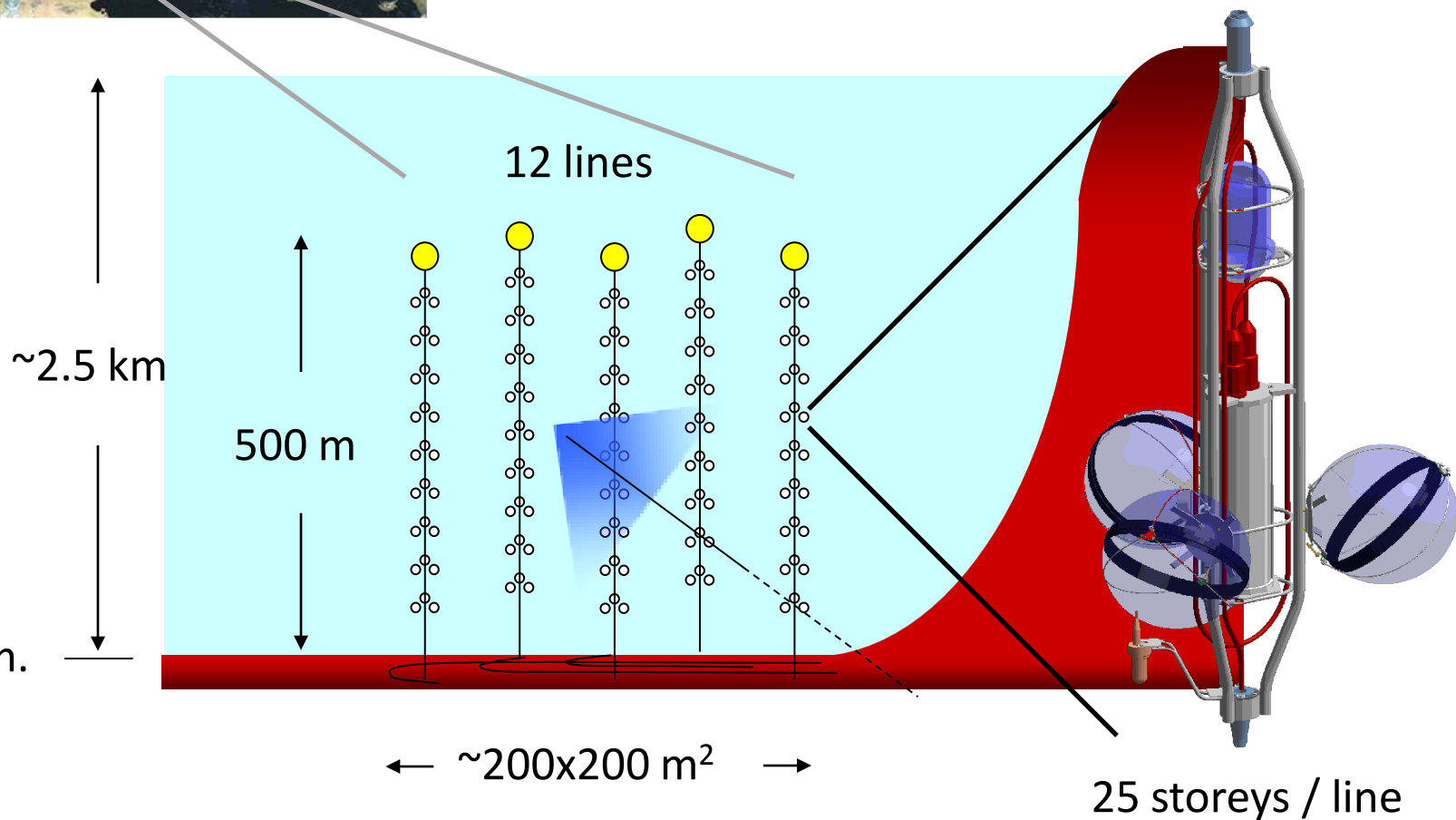
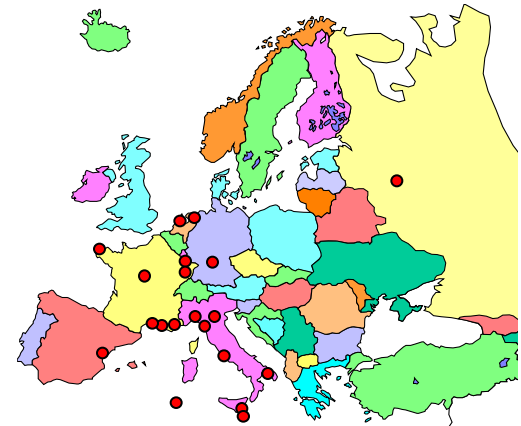


Antares

Prototype neutrino telescope



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



250 Atm.

~2.5 km

500 m

12 lines

~200x200 m²

25 storeys / line

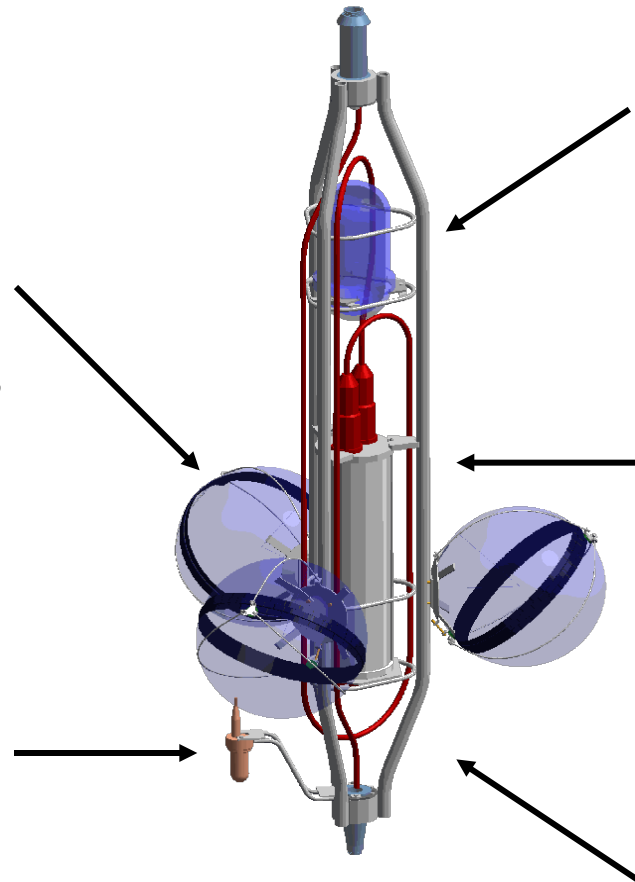
12 x 25 = 300 detection units



10" PMT
photon detection



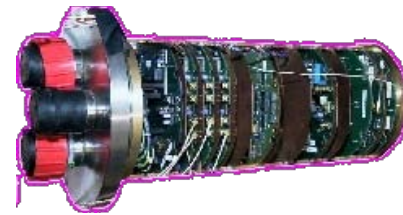
Hydrophone
acoustic positioning



← ~1 m →



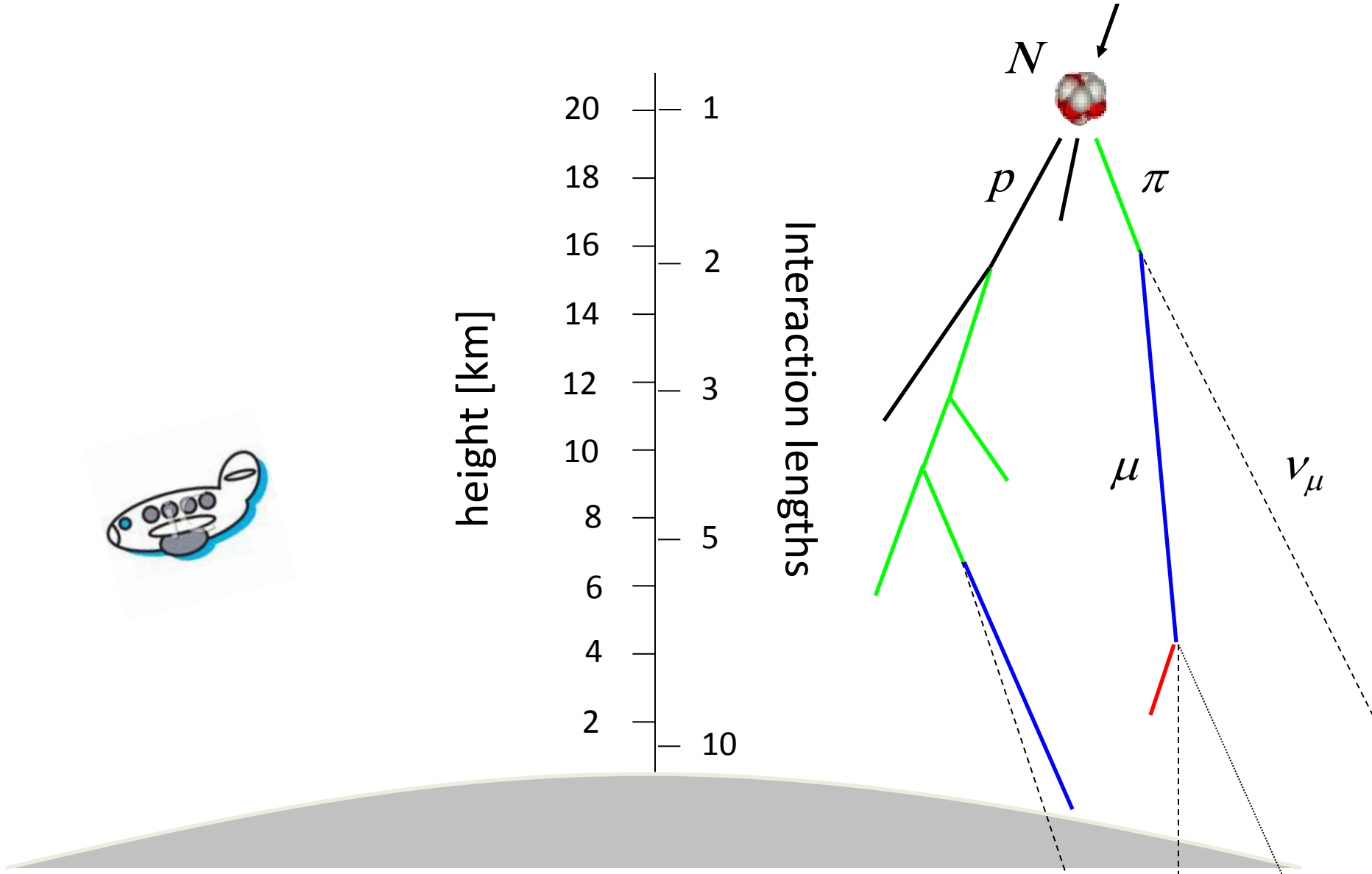
Optical beacon
timing calibration



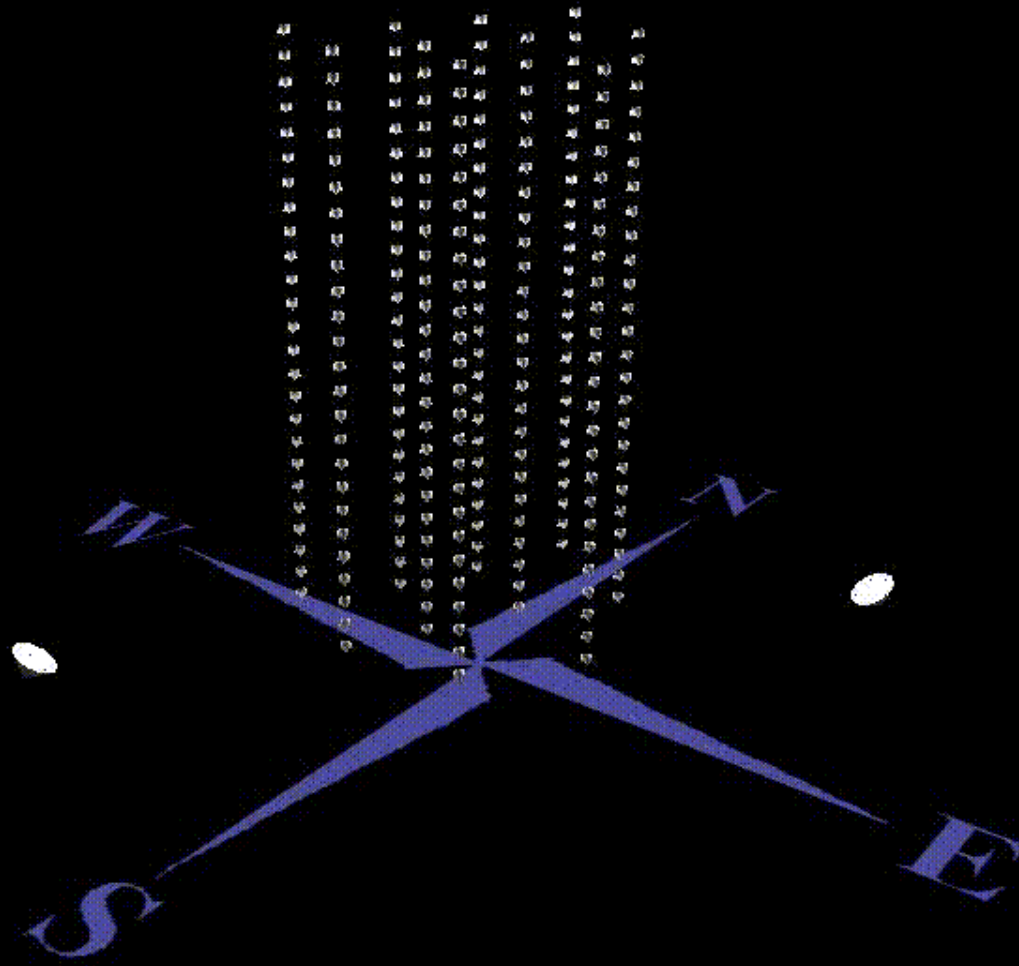
Electronics
readout

titanium frame
mechanical support

Atmosphere seen by cosmic rays

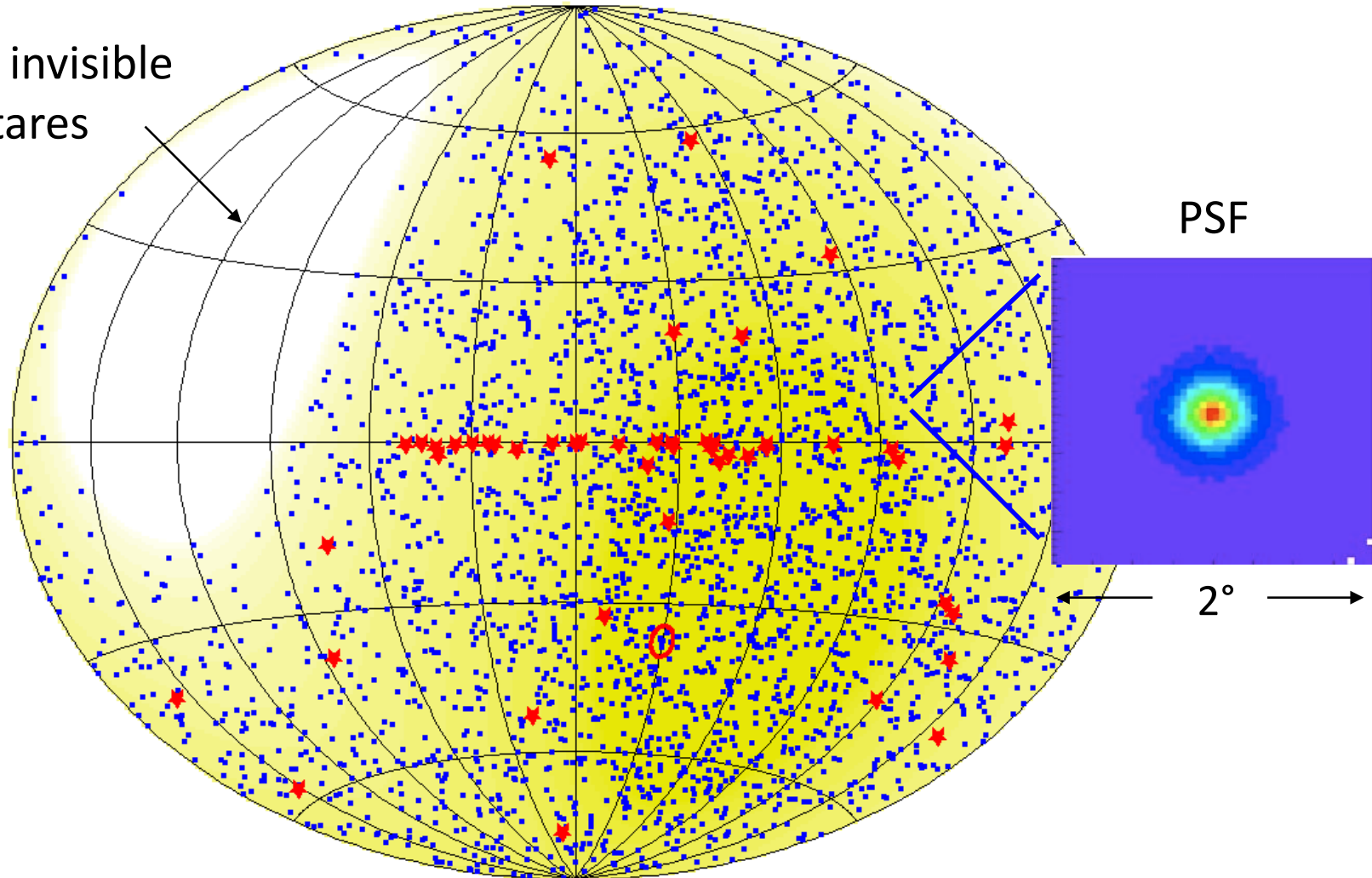


30 March 2008 11:10



Neutrino sky map (2007–2010)

part of sky invisible
to Antares



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

KM3NeT

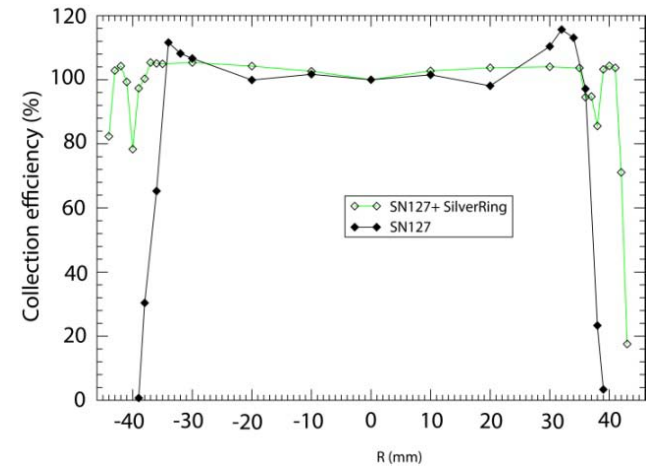
Next generation neutrino telescope

Optical module



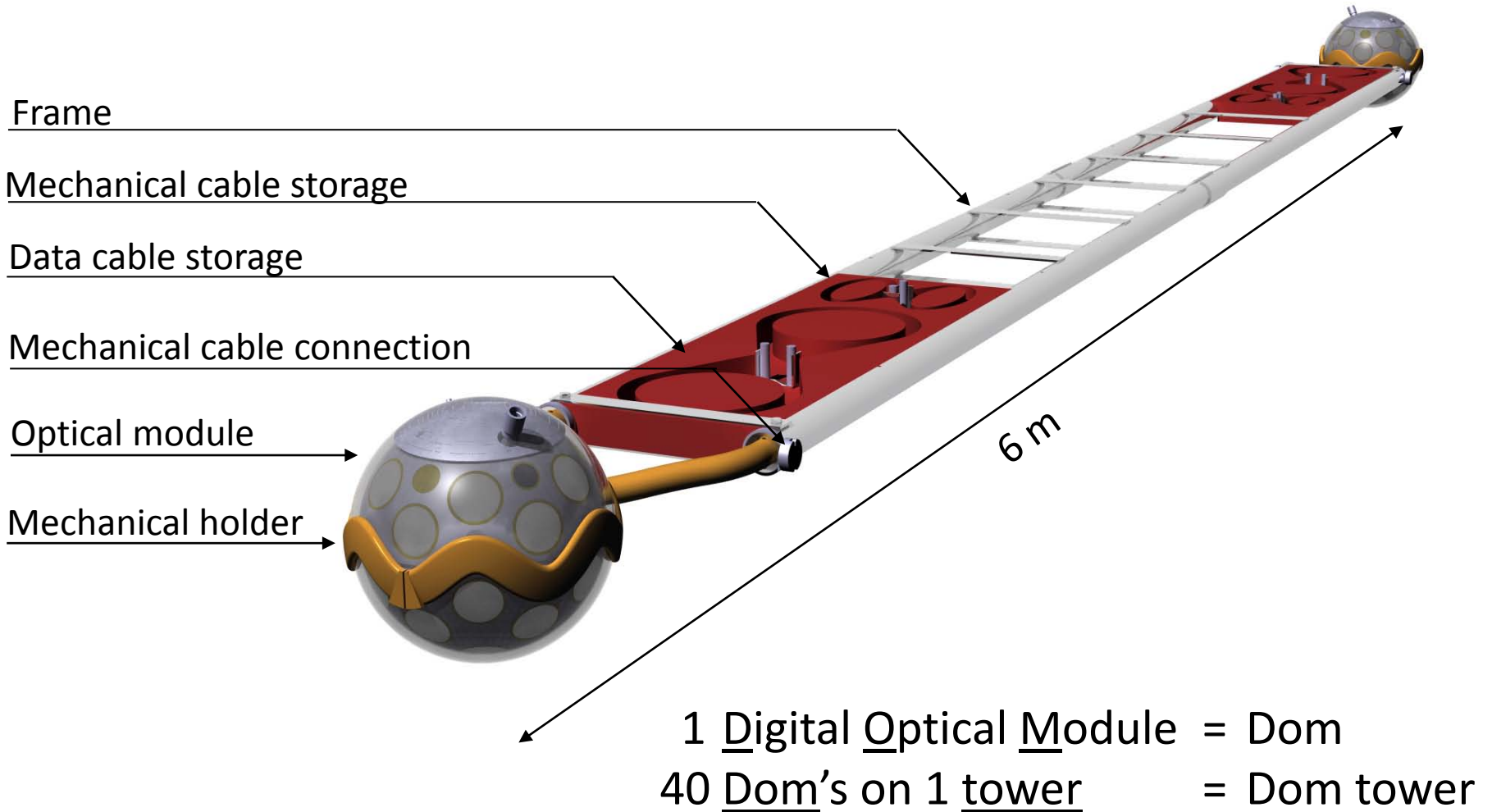
31 x 3" PMT

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

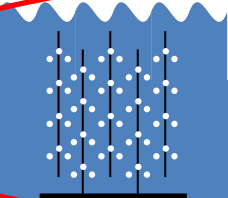
signal / noise



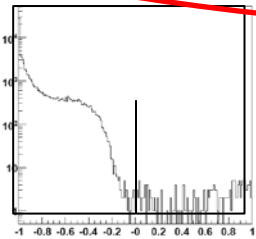
$$10 \text{ kHz} \times 400,000 = 4 \text{ GHz}$$



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

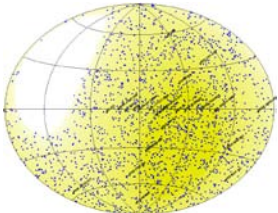


$$0.25 \text{ kHz} \times 1 = 250 \text{ Hz}$$



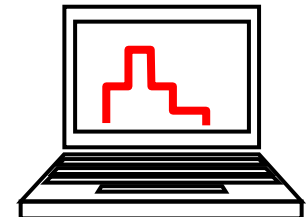
neutrinos

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

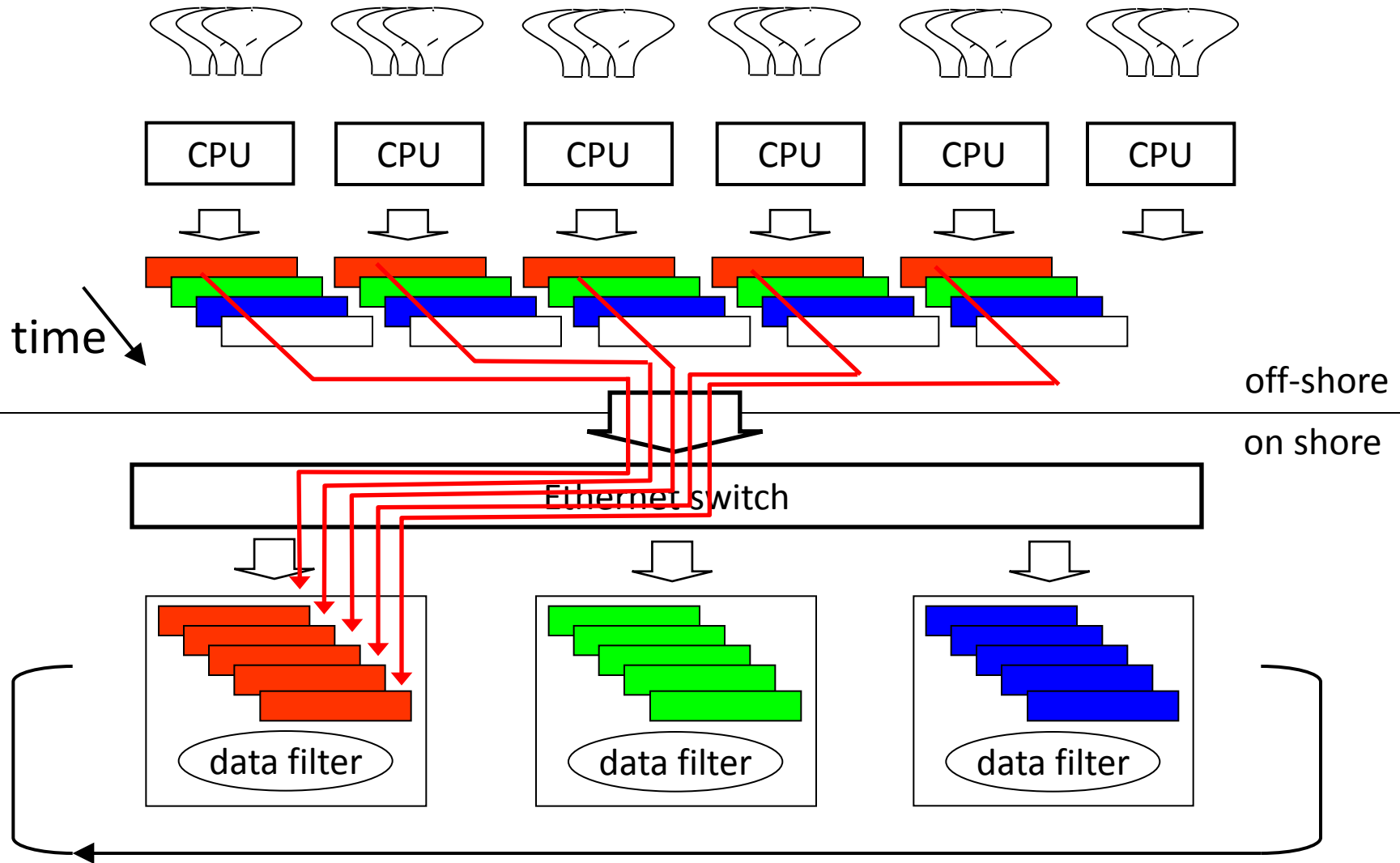


point source

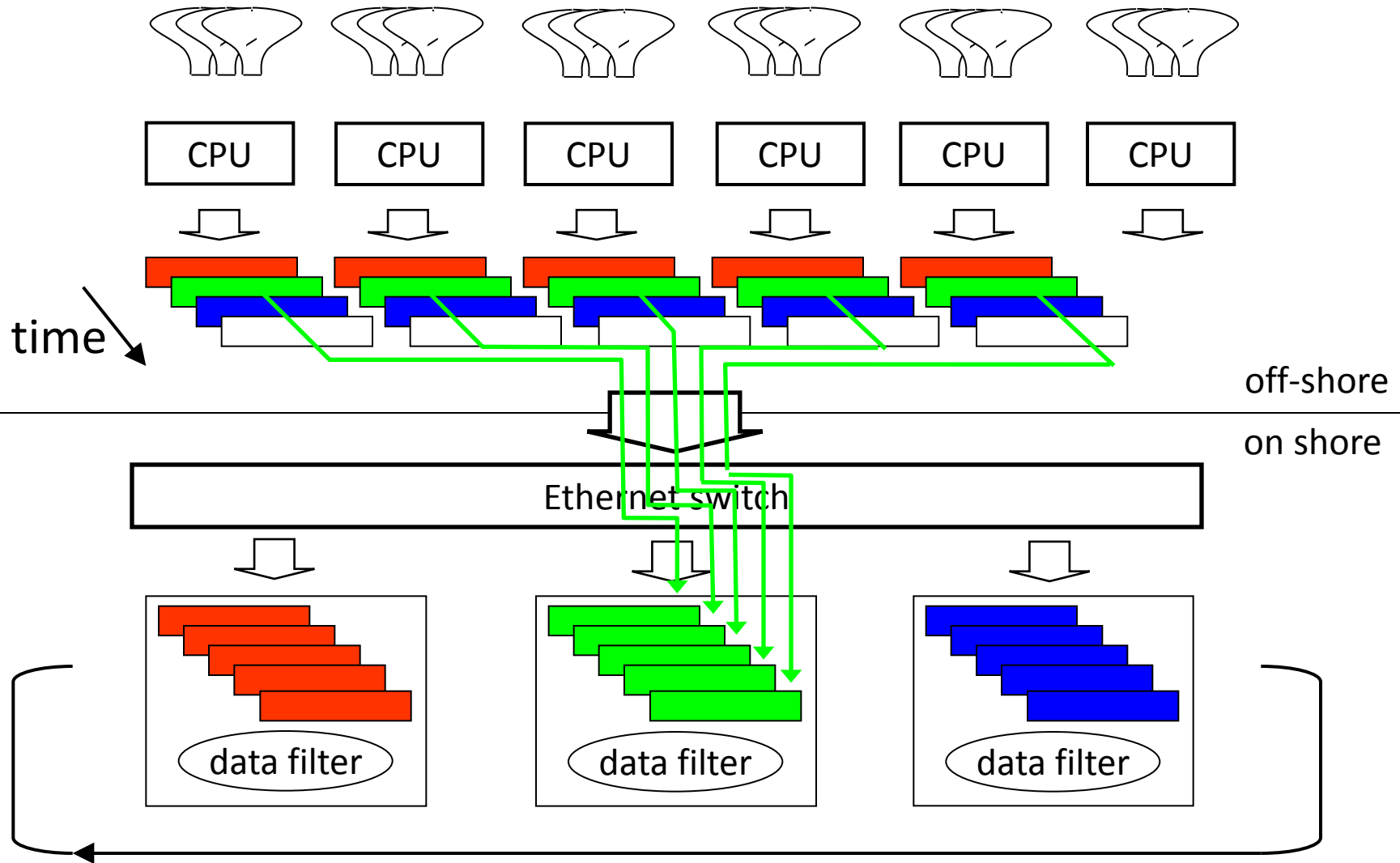
$$10^{-7} \text{ Hz}$$



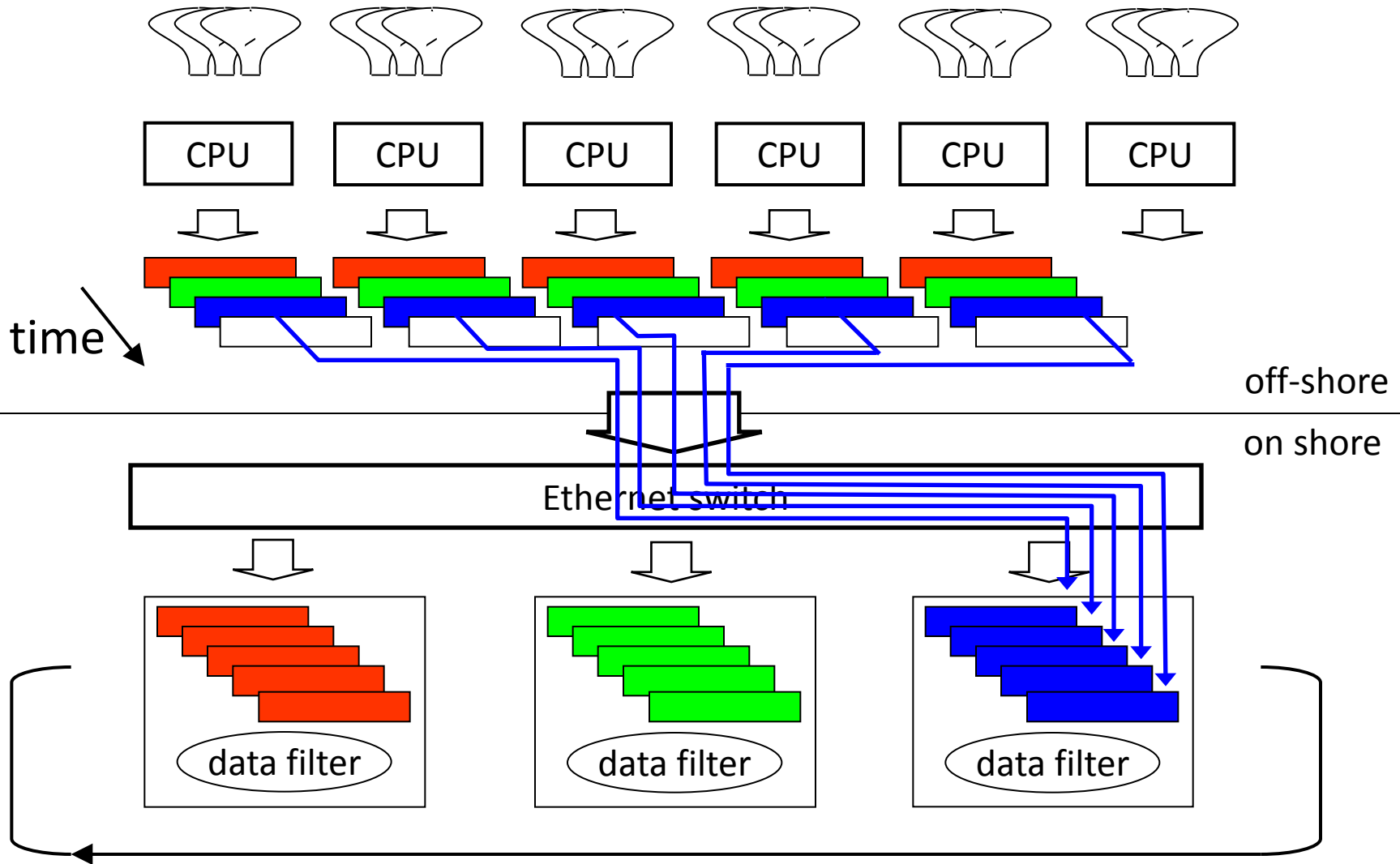
Real-time computing



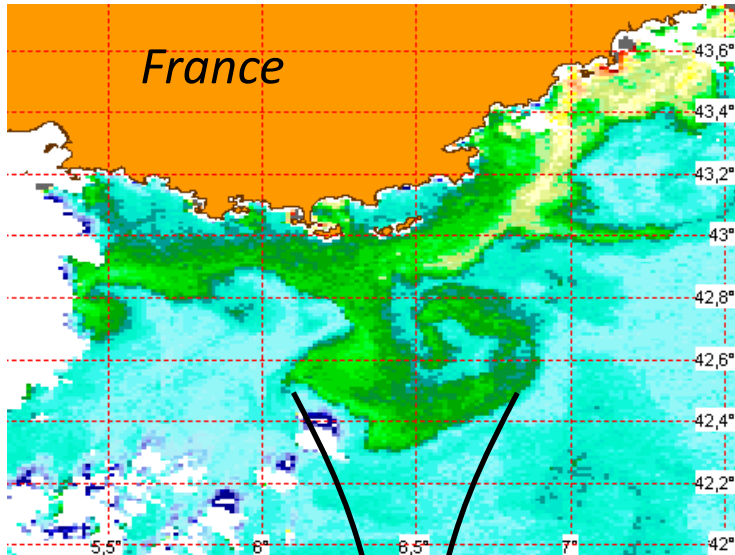
Real-time computing



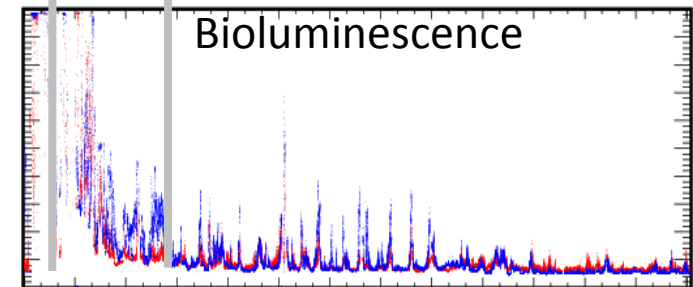
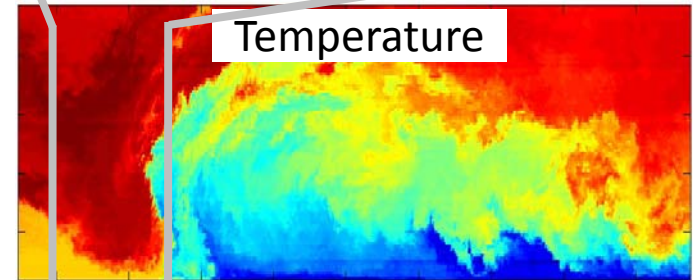
Real-time computing



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