

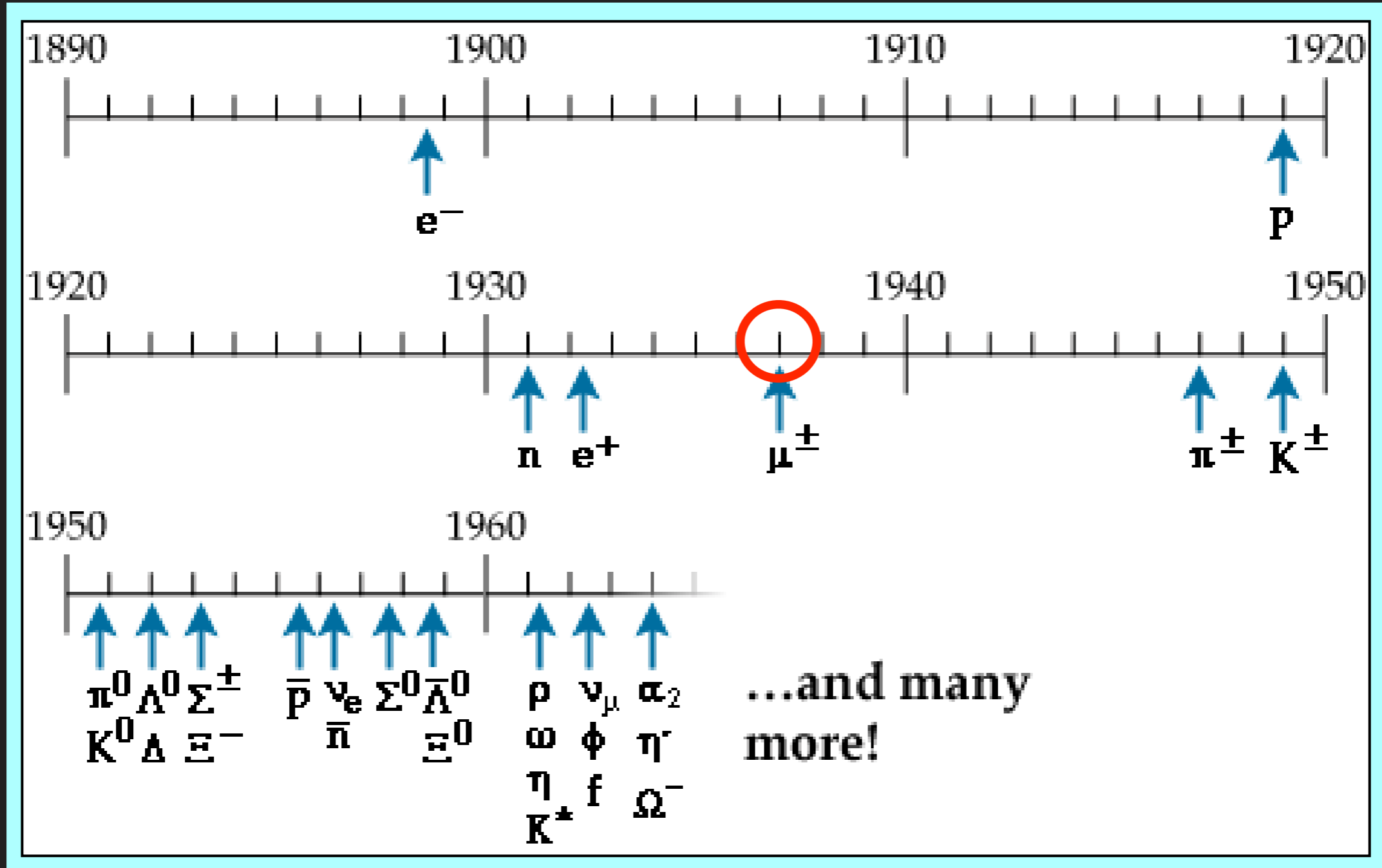
ENRICO BERTUZZO (DFMA-IFUSP)

UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA DE PARTÍCULAS

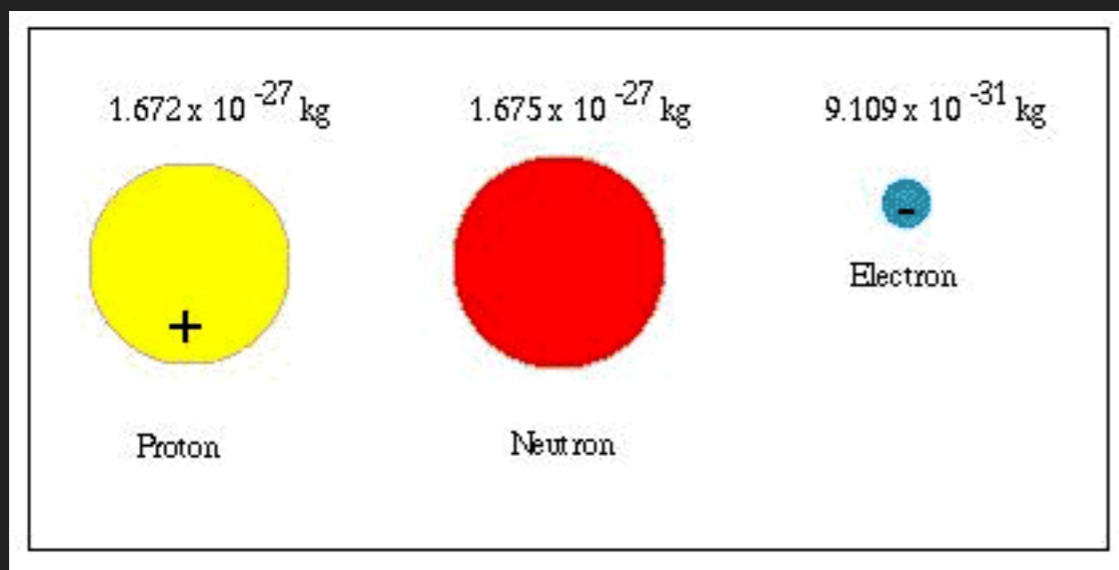
PLANO DO CURSO

- ▶ Aula 1- Uma história da Física de Partículas (parte 1: 1897-1936)
- ▶ **Aula 2 - Uma história da Física de Partículas (parte 2: 1936-1964)**
- ▶ Aula 3 - Introdução à teoria quântica de campos
- ▶ Aula 4 - Modelo Padrão: previsões e confirmações
- ▶ Aula 5 - Problemas do Modelo Padrão

HISTÓRIA

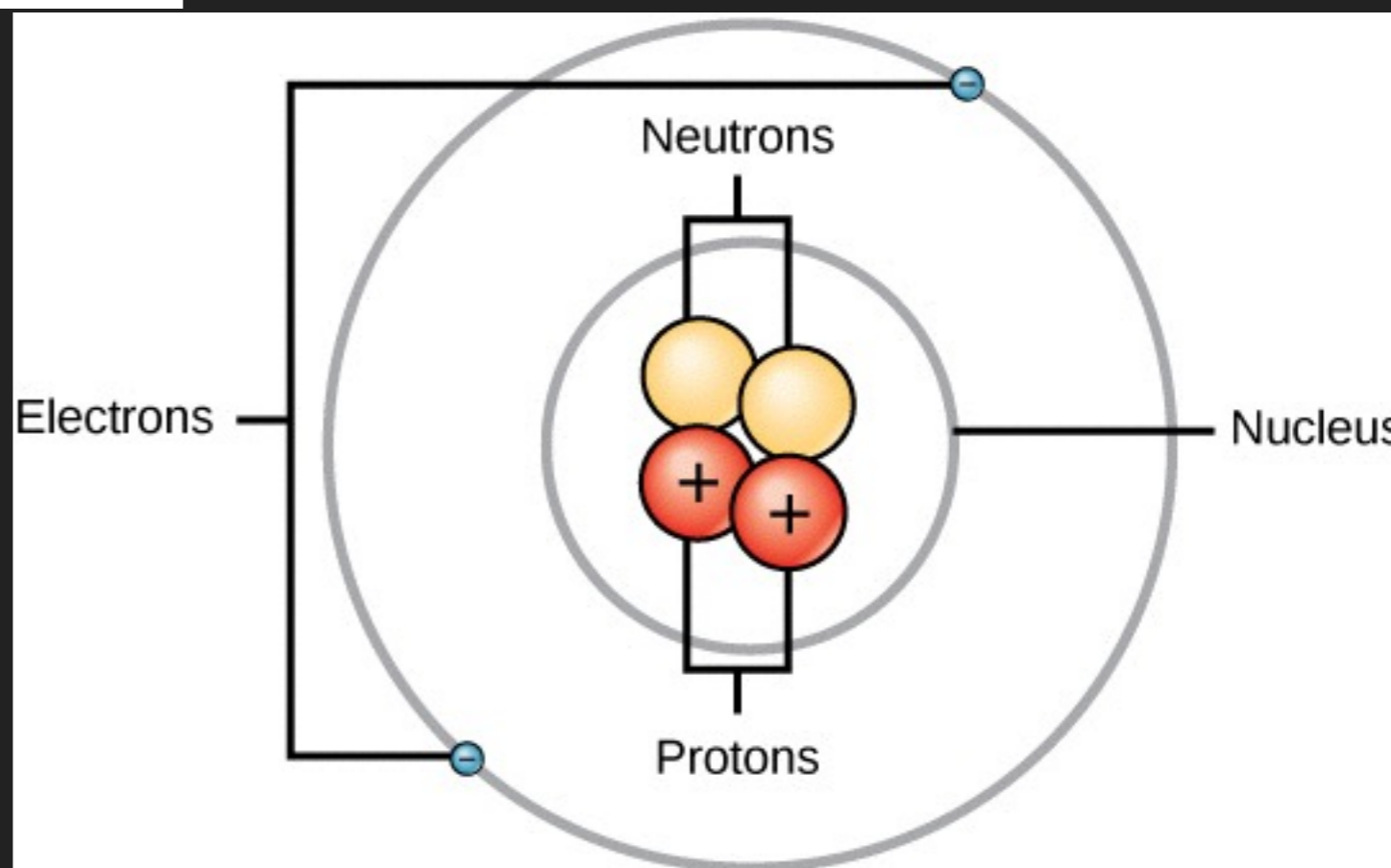


FÍSICA DE PARTÍCULAS - 1932



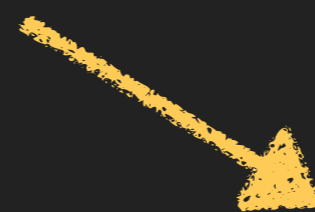
Partículas envolvidas na física dos átomos

O átomo quântico



FÍSICA DE PARTÍCULAS - 1936

Mais duas partículas que
não participam da física
dos átomos



Pósitron

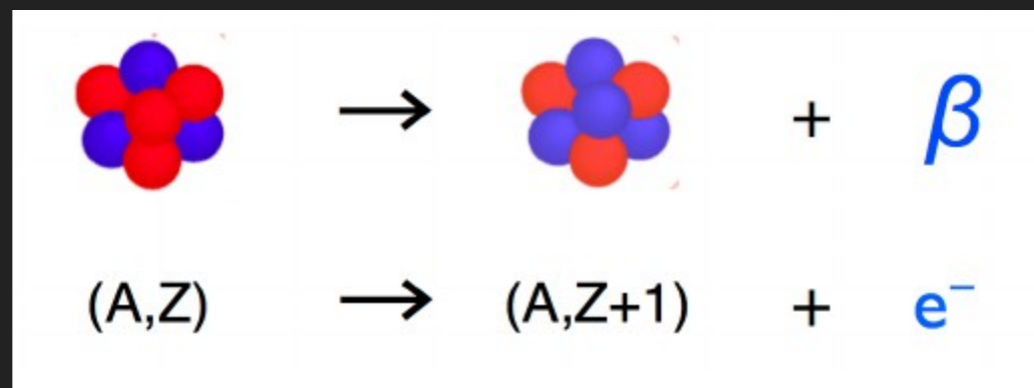
OK, predição da
Mecânica Quântica

Múon

Partícula totalmente
inesperada

OUTRO PROTAGONISTA ESTAVA APARECENDO

Decaimento β

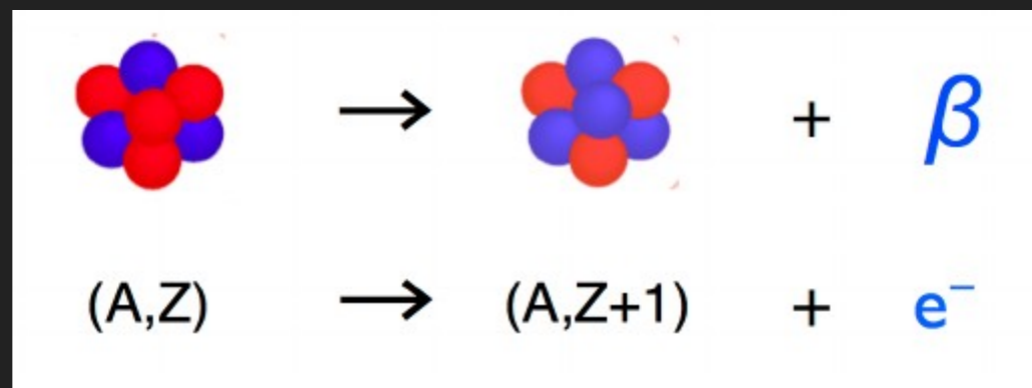


Com essa reação,
energia do elétron
é fixada

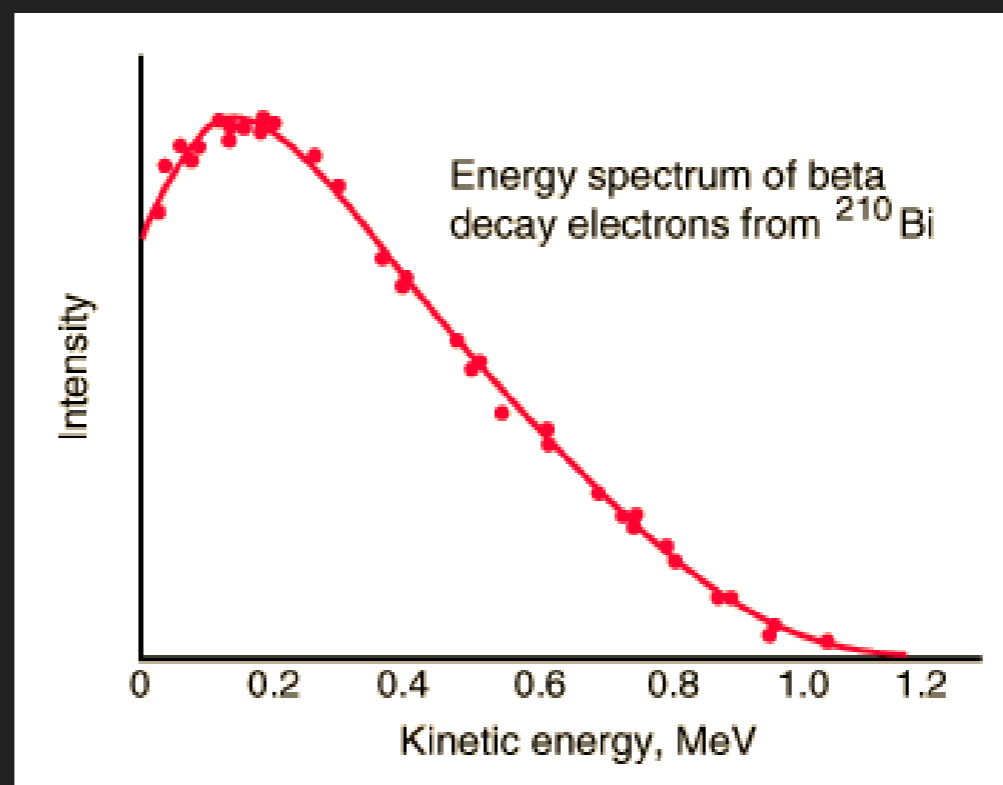
$$E_e = M_{A,Z}c^2 - M_{A,Z+1}c^2$$

OUTRO PROTAGONISTA ESTAVA APARECENDO

Decaimento β



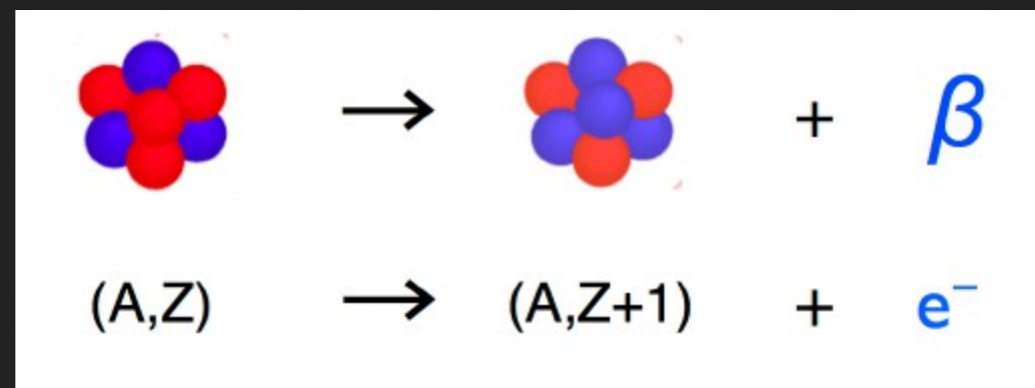
~~Com essa reação,
energia do elétron
é fixada~~



Chadwick
1914

OUTRO PROTAGONISTA ESTAVA APARECENDO

Decaimento β



Como resolver
o problema?



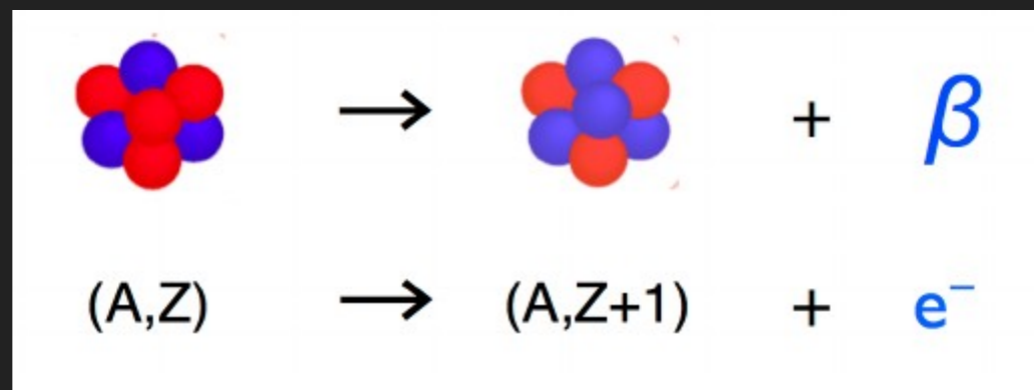
1- ENERGIA NÃO CONSERVADA

“We have no argument, either empirical or theoretical, for upholding the energy principle in the case of β ray disintegrations”

[Bohr]

OUTRO PROTAGONISTA ESTAVA APARECENDO

Decaimento β



Como resolver
o problema?

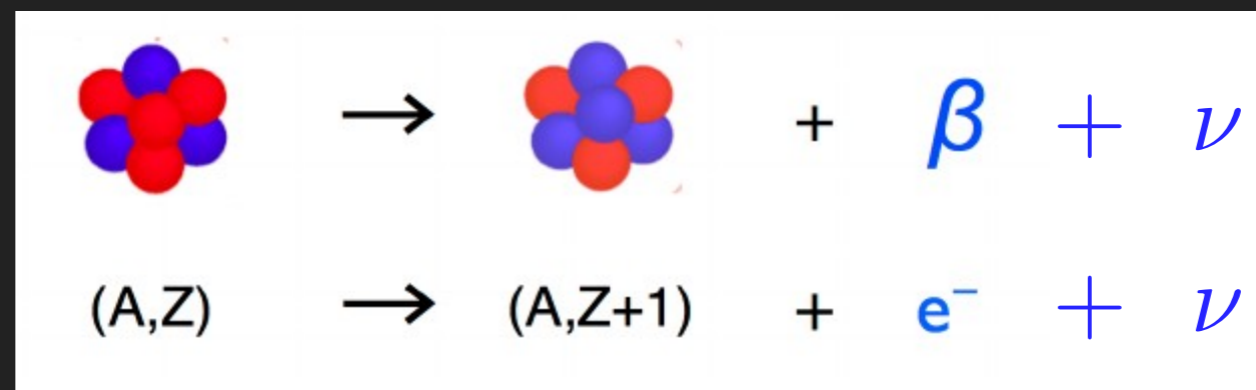


2- OUTRA PARTÍCULA
NÃO OBSERVADA

Pauli, 1930

PAULI, 1930 – NEUTRINO

Decaimento β



Agora é só observar experimentalmente
o neutrino
(1954, Reines e Cowan)

UMA INTRODUÇÃO À FÍSICA DE PARTÍCULAS

PROTON

p



The **PROTON** is a subatomic particle with a positive charge. Along with the neutron, it forms the nucleus of an atom. It consists of two up quarks and one down quark. The number of protons in the nucleus determines the chemical properties of the atom and which chemical element it is.

Acrylic felt & fleece with poly bead fill for medium mass.

\$10.49 PLUS SHIPPING



NEUTRON

n



The **NEUTRON** is a subatomic particle with no net charge. Along with the proton, it forms the nucleus of an atom. It consists of two down quarks and one up quark. The number of neutrons determines the isotope of an element.

Acrylic felt with poly bead fill for medium mass.

\$10.49 PLUS SHIPPING



ELECTRON

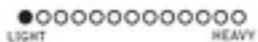
e^-



The **ELECTRON** is a fundamental subatomic particle carrying a negative charge. Its mass is 1/1000 that of the smallest atom. It participates in electromagnetic interactions, and is typically found orbiting the nucleus of an atom.

Acrylic felt with poly fill for minimum mass.

\$10.49 PLUS SHIPPING



PARTICLE ZOO - 1936

MUON

μ



The **MUON** is a short-lived, heavier version of the electron. It has the same negative charge, but is 200 times more massive than the electron.

Acrylic felt with poly bead fill for medium mass.

\$10.49 PLUS SHIPPING



ELECTRON-NEUTRINO

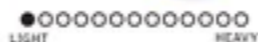
ν_e



The **ELECTRON-NEUTRINO** wears a bandit's mask because he likes to steal away energy and is notoriously difficult to detect. Traveling close to the speed of light, he is the most pervasive form of matter in the universe. Trillions of neutrinos are passing through everything around us, including us, at every moment. The result of radioactive neutron decay, most neutrinos originate from the sun. Their mass is next to nothing.

Acrylic felt with poly fill for minimum mass.

\$10.49 PLUS SHIPPING



POSITRON

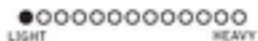
e^+



The **POSITRON** is the antiparticle to the electron. It is so named because it has a positive charge. Like the electron, it has a miniscule mass of .511 MeV. Antimatter can be described as the mirror image of regular matter, so he is the reverse image of the electron—white on black, tag on left.

Acrylic felt with poly fill for minimum mass.

\$10.49 PLUS SHIPPING



O QUE NÃO ERA CLARO

- ▶ Como prótons e nêutrons estão juntos no núcleo?
- ▶ Descrição quântica do fóton?
- ▶ O neutrino existe de verdade?
- ▶ Assim como o múon é um elétron mais pesado, será que existem outras partículas ainda mais pesadas?

O QUE NÃO ERA CLARO

- ▶ Como prótons e nêutrons estão juntos no núcleo?
- ▶ Descrição quântica do fóton?
- ▶ O neutrino existe de verdade?
- ▶ Assim como o múon é um elétron mais pesado, será que existem outras partículas ainda mais pesadas?

1935 - YUKAWA

A força que permite que o núcleo exista:

- ▶ não é eletromagnética (prótons carregados mas nêutrons neutros)
- ▶ tem que ter comprimento típico da ordem do tamanho do núcleo (não observamos atração entre núcleos diferentes, só entre prótons e nêutrons do mesmo núcleo)

Relatividade + Mecânica Quântica
FÓTON não possui massa



$$V(r) = \frac{q}{r}$$

Yukawa: precisamos de
um potencial

FORÇA FORTE



$$V(r) = \frac{e^{-kmr}}{r}$$

1935 - YUKAWA

Yukawa: precisamos de um potencial



$$V(r) = \frac{e^{-kmr}}{r}$$



MÉSON



Ao contrário do que acontece com o fóton, esse "mediador" tem que ter massa não nula

Núcleo tem raio ~1fm



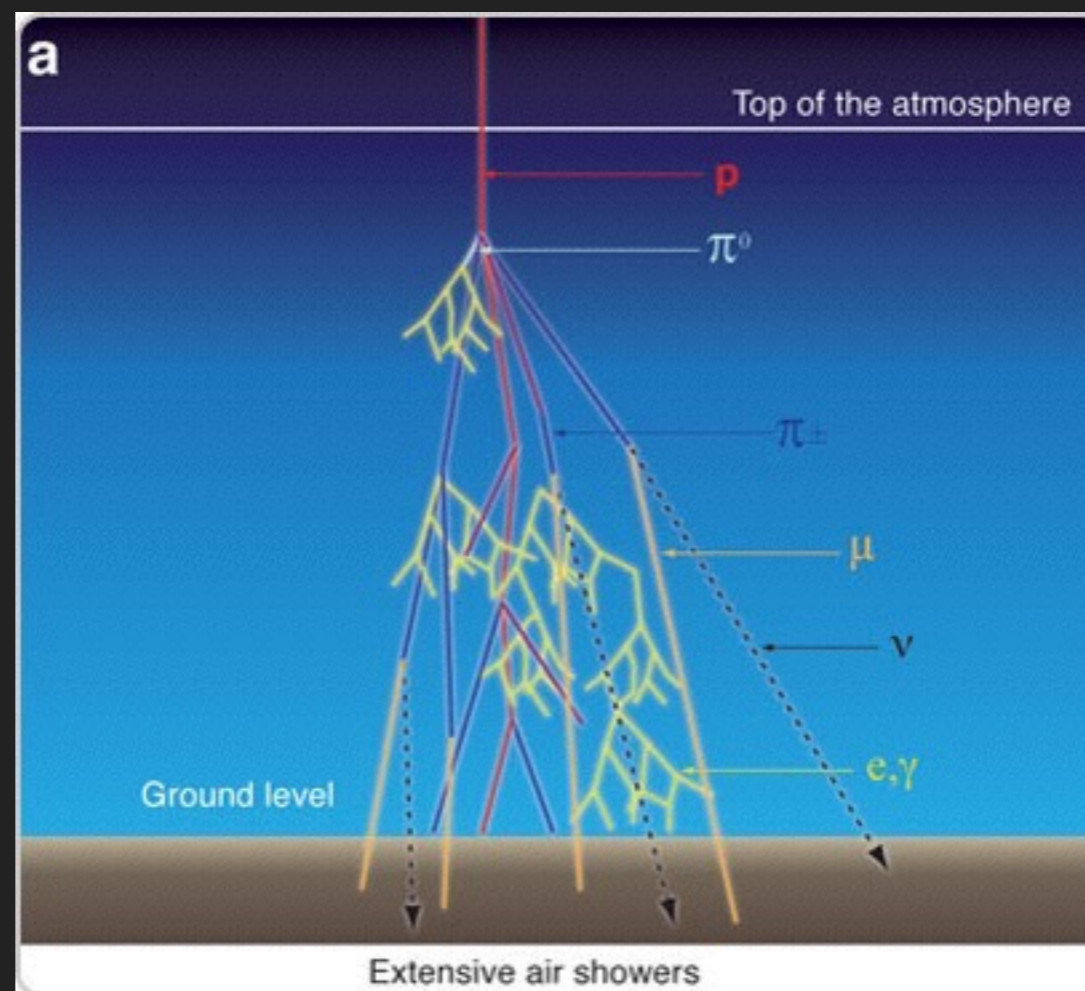
massa méson ~ 200 MeV/c²

DESCOBERTA DA NOVA PARTÍCULA

- ▶ 1946 - Conversi, Pancini, Piccioni - primeira observação de uma partícula que pode ser identificada com o méson de Yukawa (tem carga + e -)
- ▶ 1947 - Perkins - confirmação de que a partícula observada é a partícula predita por Yukawa
- ▶ 1947 - Lattes, Occhialini, Powell - $\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu(?)$
- ▶ 1950 - Steinberger, Panofsky, Steller - $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$

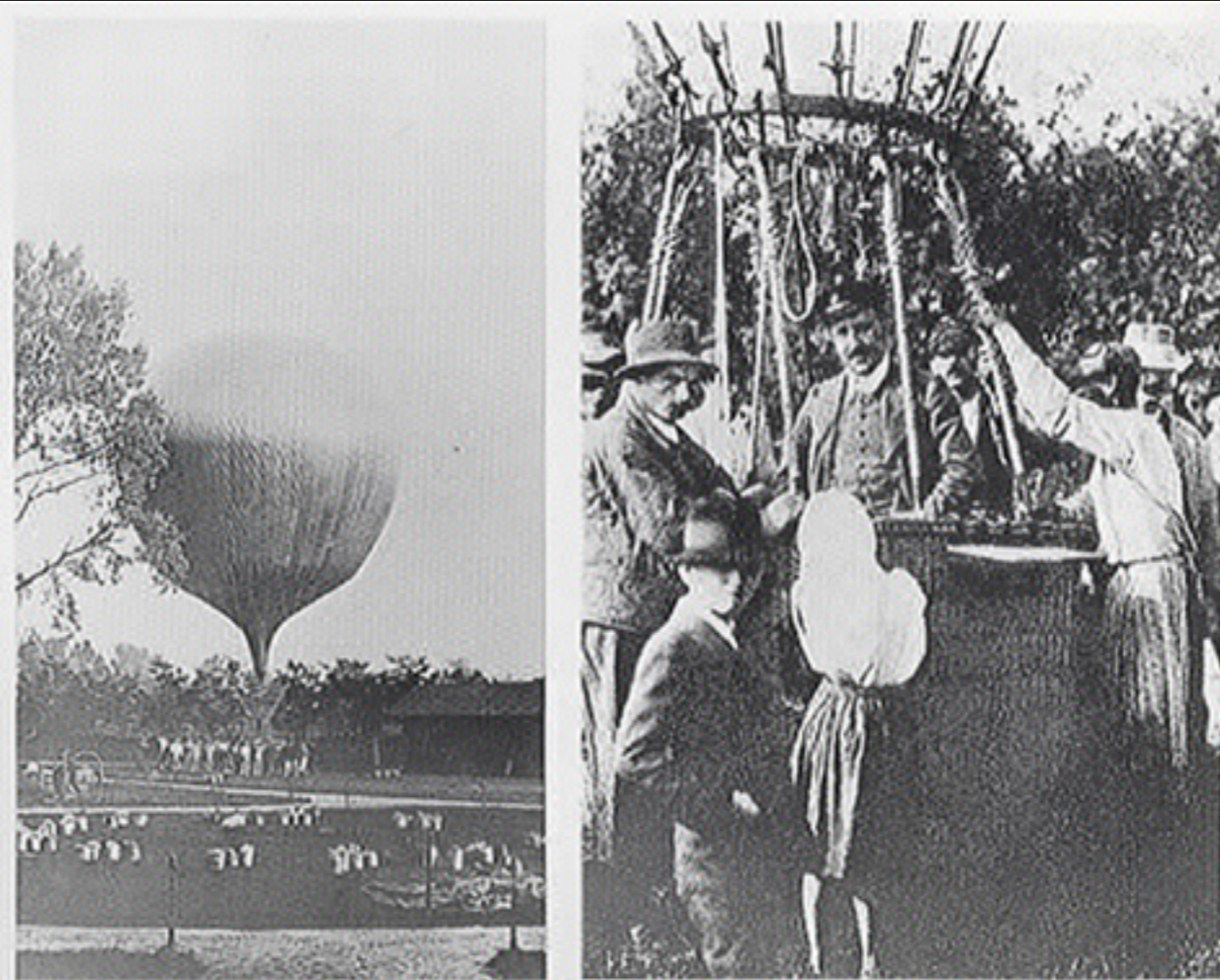
COMO OS EXPERIMENTOS ERAM FEITOS

RAIOS CÓSMICOS



COMO OS EXPERIMENTOS ERAM FEITOS

RAIOS CÓSMICOS



(a)

(b)

Figure 1.3. The balloon flights of Victor F. Hess. (a) Preparation for one of his flights in the period 1911–12. (b) Hess after one of the successful balloon flights in which the increase in ionisation with altitude through the atmosphere was discovered. (From Y. Sekido and H. Elliot (eds) (1985). *Early history of cosmic ray studies*, Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.)

AINDA HOJE...

Cosmic-ray and gamma-ray experiments

Space experiments

- [ACE](#) [Advanced Composition Explorer] Mission mainly for solar particles; launched in August 1997.
- [AGILE](#) [Astro-rivelatore Gamma a Immagini LEggero] X-ray/gamma ray mission launched April 23, 2007.
- [AMS](#) [Alpha Magnetic Spectrometer] Detector installed on the [International Space Station](#) on May 19, 2011. See also [NASA page](#)
- [ASCA](#) [Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics] (X-ray mission but with some cosmic-ray relevant results, see also [here](#)). Observations ended July 14, 2000.
- [BeppoSAX](#) [Satellite per Astronomia X] (operational May 1996 - April 2002)
- [Chandra](#) X-ray satellite
- [CGRO](#) [Compton Gamma Ray Observatory] (mission terminated) with the four experiments:
 - [BATSE](#) [Burst And Transient Source Experiment]
 - [OSSE](#) [Oriented Scintillation Spectrometer Experiment]
 - [Comptel](#) [imaging Compton telescope] (also [here](#))
 - [EGRET](#) [Energetic Gamma Ray Experiment Telescope]
- [Geotail](#) (measures the Earth's magnetotail)
- [Fermi Gamma-ray Space Telescope](#), originally: GLAST [Gamma ray Large Area Space Telescope] (launch June 11, 2008, see also [NASA page](#))
- [GRANAT](#) gamma-ray satellite with several experiments (SIGMA, WATCH and others) was turned off November 27, 1998
 - [SIGMA](#) [Système d'Imagerie Gamma à Masque Aléatoire]
- [HETE](#) [High-Energy Transient Experiment] (launch failed on 4 Nov. 1996) has a follow-up: [HETE-2](#) (launched October 9, 2000).
- [IMP-8](#) (Interplanetary Monitoring Platform)
- [INTEGRAL](#) [INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory] (launched October 17, 2002)
- [NINA](#) [New Instrument for Nuclear Analysis], a mission for low energy cosmic rays.
- [PAMELA](#) (magnet spectrometer, launched June 15, 2006). See also [here](#).
- [Polar](#) (examines the Earth's magnetosphere and ionosphere)
- [Rosat](#) X-ray satellite (ended February 12, 1999)
- [RXTE](#) [Rossi X-ray Timing Explorer]
- [SAMPEX](#) [Solar Anomalous Magnetospheric Particle Explorer]
- [Spectrum-X-Gamma satellite](#) project apparently abandoned for some time (see also [here](#) and [here](#))
- [Suzaku](#) X-ray satellite (Astro-E2 mission, see also [this NASA page](#))
- [SWIFT](#) (gamma ray burst mission, launched November 20, 2004)
- [Ulysses](#) (explores interplanetary space at high solar latitudes)
- [Voyager](#) (two spacecrafts heading towards interstellar space)
- [WIND](#) (explores solar wind and plasma processes near the earth as well as gamma-ray bursts)
- [XMM-Newton](#) [X-ray Multi-mirror Mission] (see also [pages at GSFC](#))

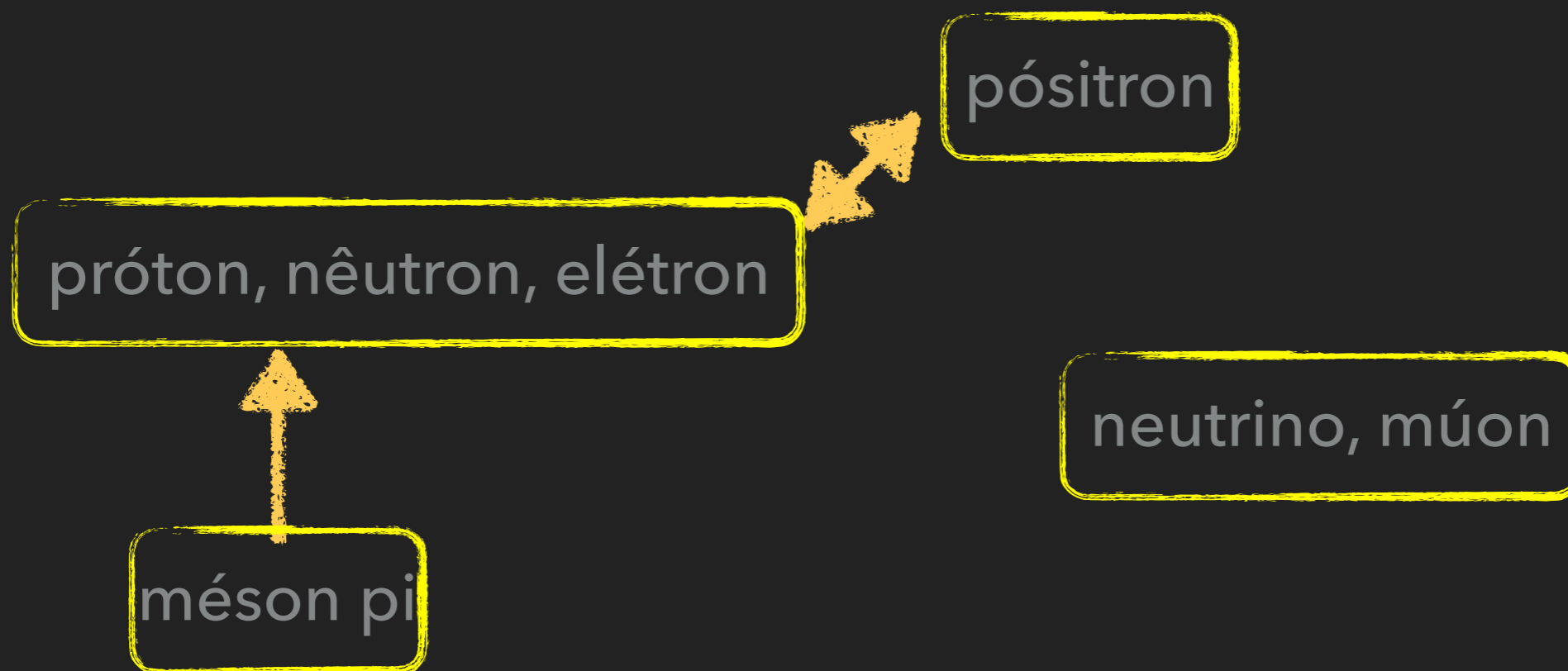
AINDA HOJE...

Balloon experiments

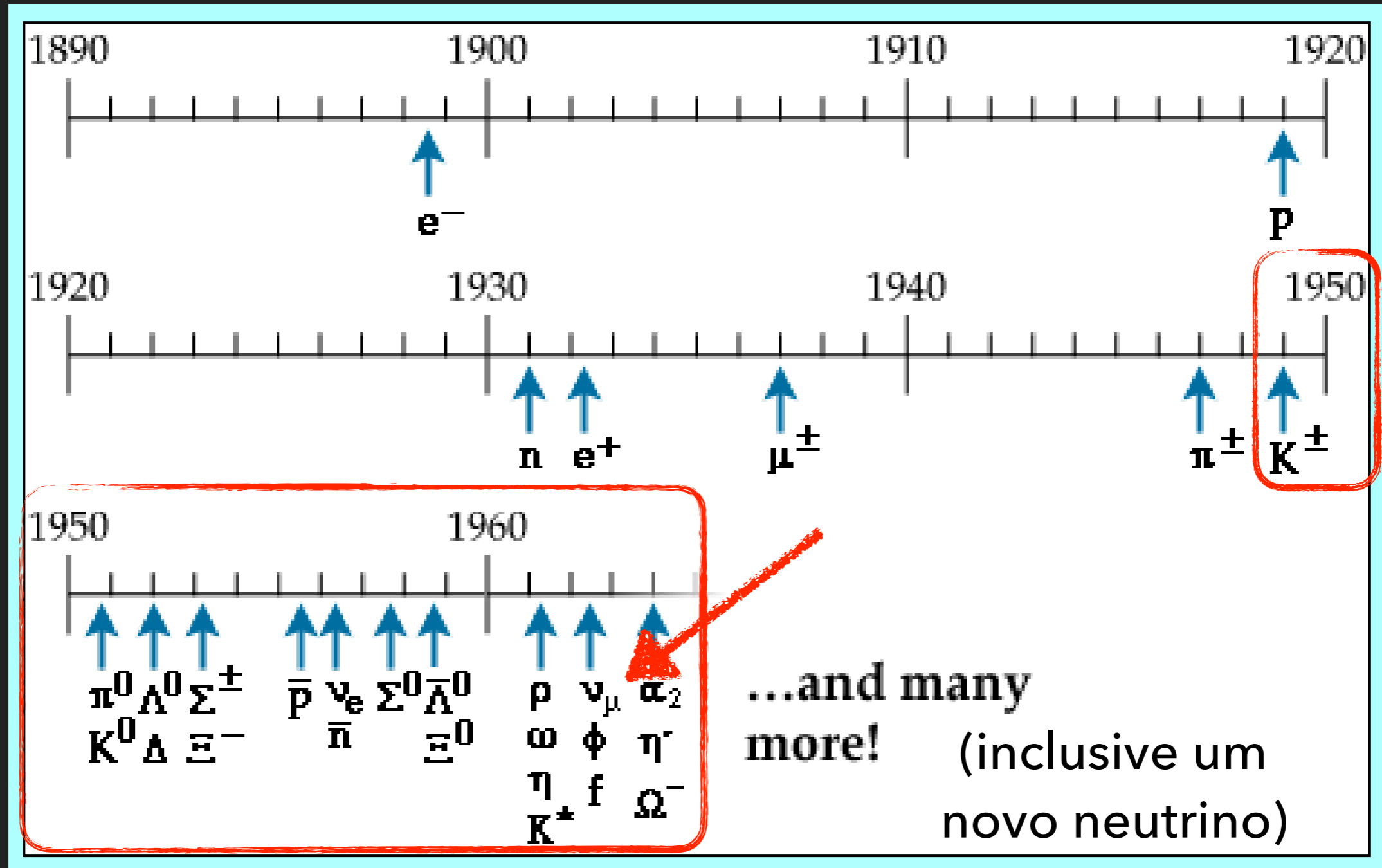
- [AESOP / LEE](#) [Anti-Electron Sub Orbital Payload / Low Energy Electrons]
- [ANITA](#) [Antarctic Impulse Transient Array] (project for radio frequency neutrino shower detection) See also [here](#).
- [ATIC](#) [Advanced Thin Ionization Calorimeter]
- [BaBy](#) [Background Bypass] (measuring atmospheric UV background for the [EUSO](#) project)
- [BESS](#) [Balloon-borne Experiment with a superconducting Solenoid Spectrometer] (see also [here](#)).
- [BETS](#) [Balloon borne Electron Telescope with Scintillating fibers], for PPB-BETS (Polar Patrol Balloon) flight see also [here](#)
- [CAPRICE](#) [Cosmic AntiParticle Ring Imaging Cherenkov Experiment] (see also [CAPRICE-II](#))
- [CREAM](#) [Cosmic Ray Energetics and Mass Balloon Experiment] (see also [here](#) and [here](#))
- [GRATIS](#) [Gamma-Ray Arcminute Telescope Imaging System]
- [GRIP](#) [Gamma Ray Imaging Payload]
- [GRIS](#) [Gamma-Ray Imaging Spectrometer]
- [HEAT](#) [High Energy Antimatter Telescope]
- [HIREGS](#) [High Resolution Gamma-Ray and Hard X-Ray Spectrometer]
- [IMAX](#) [Isotope Matter Antimatter Experiment] (see also [here](#) and [here](#))
- [ISOMAX](#) [Isotope Magnet Experiment]
- [JACEE](#) [Japanese-American Collaborative Emulsion Experiment] (mainly for cosmic-ray composition up to several hundred TeV)
- [MASS.](#) [Matter Antimatter Superconducting Spectrometer] (flown in different configurations; for MASS2 see also [here](#))
- [PoGOLite](#) [Polarized Gamma-ray Observer]
- [RUNJOB](#) [RUssian-Nippon JOint Balloon Experiment]
- [SMILI](#) [Superconducting Magnet Instrument for Light Isotopes]
- [TIGRE](#) [Tracking and Imaging Gamma Ray Experiment] (under development)
- [TIGER](#) [Trans Iron Galactic Element Recorder]
- [TRACER](#) [Transition Radiation Array for Cosmic Energetic Radiation]

See also the [NASA balloon programs](#).

O QUADRO FICA COMPLETO



O QUADRO FICA COMPLETAMENTE CONFUSO



EXISTE UM PRINCÍPIO QUE UNIFICA AS PARTÍCULAS OBSERVADAS?

1962 - Gell-Mann, Ne'eman: ideia das "simetrias internas"

- ▶ vamos supor que existam 3 partículas fundamentais: ***u, d, s***
- ▶ ***u, d, s*** obedecem regras de transformações de "rotações complexas" [SU(3)] em um espaço não físico chamado de espaço interno
- ▶ só algumas direções (combinações de ***u, d*** e ***s***) são permitidas no espaço interno. À cada direção corresponde uma das partículas observadas
- ▶ previsão: deve existir uma nova partícula, Ω^- , cujas propriedades são preditas pelo modelo
- ▶ 1964: descoberta da nova partícula e confirmação do modelo

Próton, nêutron, mésons e as outras partículas descobertas nos raios cósmicos são compostas de **QUARKS**, chamados de ***u, d, s***

O QUE NÃO ERA CLARO

- ▶ Como prótons e nêutrons estão juntos no núcleo?

- ▶ De Próton, nêutron, mésons e as outras partículas descobertas nos raios cósmicos são compostas de
- ▶ O QUARKS

- ▶ As Nova pergunta: o que permite aos quarks se juntar para formar partículas? Qual é o mediador na nova força?
- ▶ ex

O QUE NÃO ERA CLARO

- ▶ Como prótons e nêutrons estão juntos no núcleo?
- ▶ **Descrição quântica do fóton?**
- ▶ O neutrino existe
- ▶ Assim como o muon é um elétron mais pesado, será que existem outras partículas ainda mais pesadas?

Próxima aula

O QUE NÃO ERA CLARO

- ▶ Como prótons e nêutrons estão juntos no núcleo?
- ▶ Descrição quântica do fóton?
- ▶ **O neutrino existe de verdade?**
- ▶ Assim como existem outros tipos de neutrinos que existem out

Sim, e existem dois tipos:

- ▶ neutrino do elétron (sempre produzido com elétron) - 1954
- ▶ neutrino do múon (sempre produzido com múon) - 1962

O QUE NÃO ERA CLARO

- ▶ Como prótons e nêutrons estão juntos no núcleo?
- ▶ Descrição quântica do fóton?
- ▶ O neutrino existe de verdade?
- ▶ Assim como o múon é um elétron mais pesado, será que existem outras partículas ainda mais pesadas?

Sim, mas composta por quarks

(POR ENQUANTO)