

CELESTE

COSMIC RAYS
SCIENCE
LAB
EXPERIMENT FOR
STUDENTS AND
TEACHERS

UMA REDE DE DETECTORES DE RAIOS CÓSMICOS
PARA O ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NO
ENSINO MÉDIO

Marco Leite e Marisilvia Donadelli

USP/UERJ

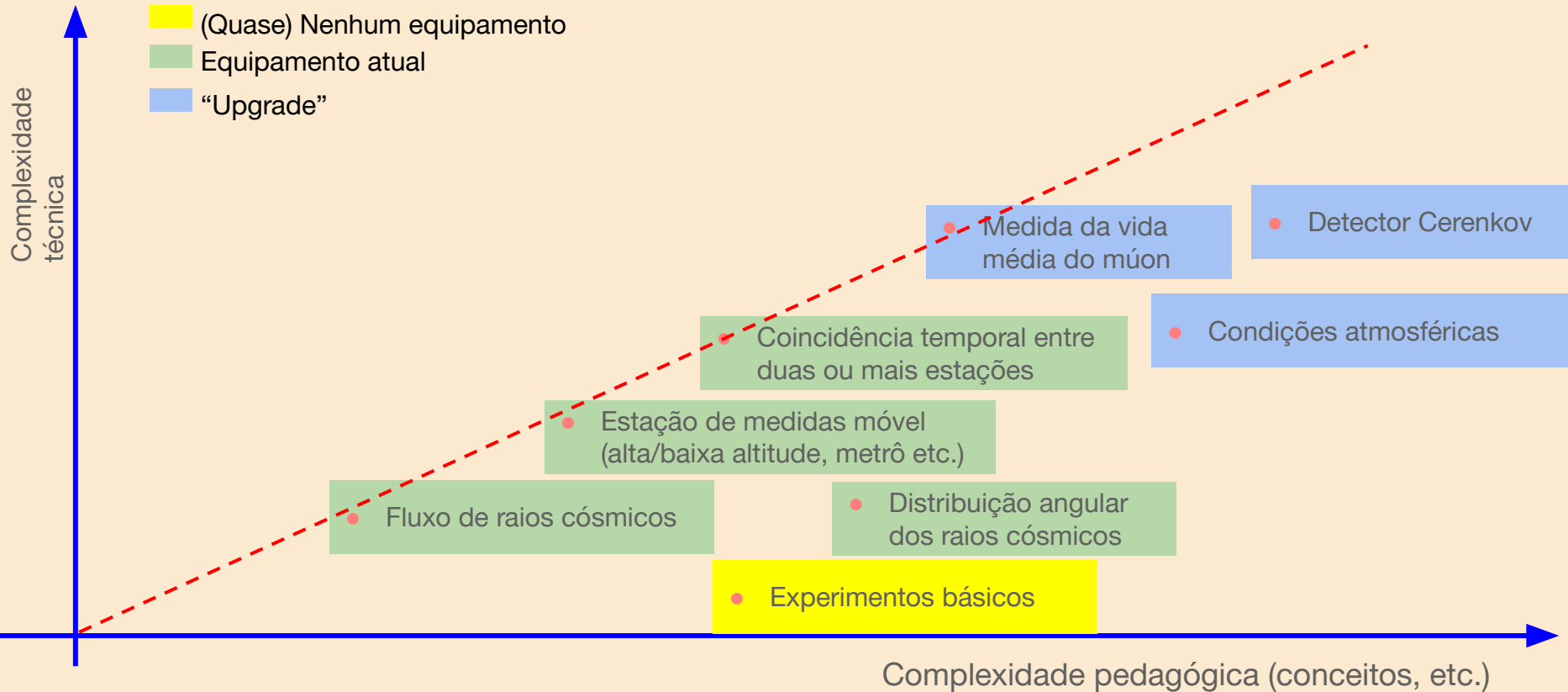
24 Fev. 2025



<https://celeste.if.usp.br/>



PROPOSTAS EXPERIMENTAIS E SUAS VARIANTES

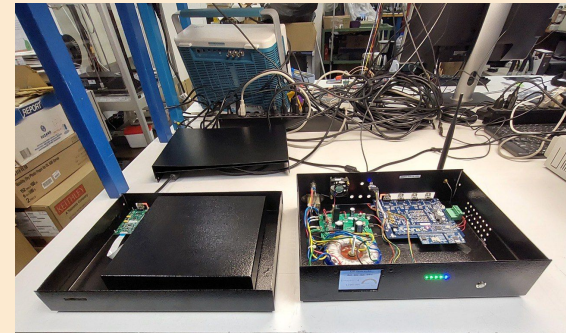


EXPERIMENTOS INTRODUTÓRIOS

1. Fundamentais para eliminar a sensação de "caixa-preta"
2. Pode ser desenvolvido de forma completamente independente
 - Com "ganchos" ao longo da aplicação com o projeto
3. Integrado com o programa de Física do ensino médio
 - Discussão com o Francisco sobre circuitos elétricos
4. Alguns exemplos a seguir (não exaustivo...)

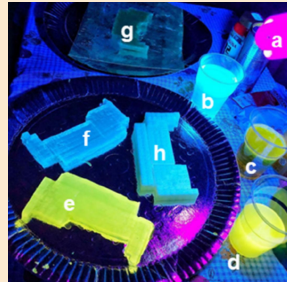


Segunda versão do detector sendo desenvolvida/montada



EXPERIMENTOS INTRODUTÓRIOS (I)

1. Processo de cintilação
2. Impossível uso de fontes radioativas etc.
3. Explorar o paralelo com fluorescência (absorção e emissão em diferente comprimento de onda, etc.)



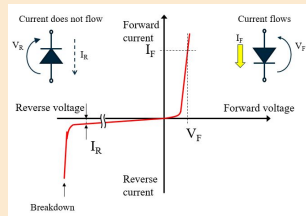
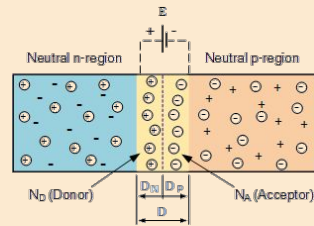
Que coincidência ...



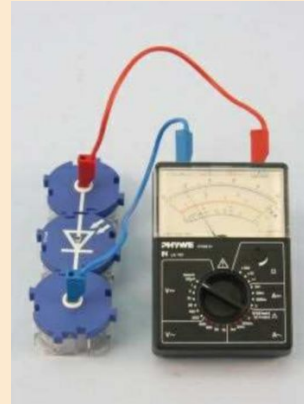
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1541-4329.12214>

EXPERIMENTOS INTRODUTÓRIOS (II)

1. Materiais semicondutores (antes do *inos)
2. Funcionamento de um diodo
3. Curva IV



1. Fotodiodos

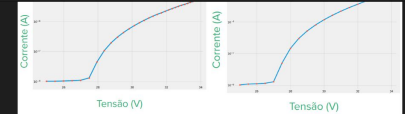


www.phywe.com

Próxima etapa

Próxima etapa já pronta

- Deve ser integrado com lab. circuitos elétricos convencional
- Desenvolvido Gabriel - I.C.
- Link : [Caracterização SiPM](#)

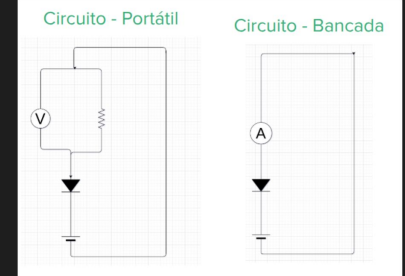


Como é possível perceber pelo gráfico, uma medida que deve ser tomada quando utilizando instrumentos de menor precisão (multímetro portátil) é coletar mais pontos afim de diminuir a flutuação dos dados.

Pontos importantes

- O desvio padrão em ambos os métodos é parecido (Note que para o multímetro foram tomadas mais medidas ao passo que para o amperímetro foi utilizado a função PLC do equipamento).
- O multímetro portátil só pode ser utilizado para medir corrente porque foi utilizado como voltímetro para então converter esse dado para corrente. Isso porque o instrumento não possui precisão suficiente para medir a corrente diretamente.
- Existe uma incerteza associada ao fato de que o voltímetro foi utilizado como amperímetro. Uma vez que foi necessário medir a resistência equivalente desse circuito, inevitavelmente introduzindo mais incertezas.

Segue uma ilustração que compara bem as duas situações:



Relatividade, Relógios atômicos, GPS e múons (I)

Experimento de Hafele & Keating

Around-the-World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains

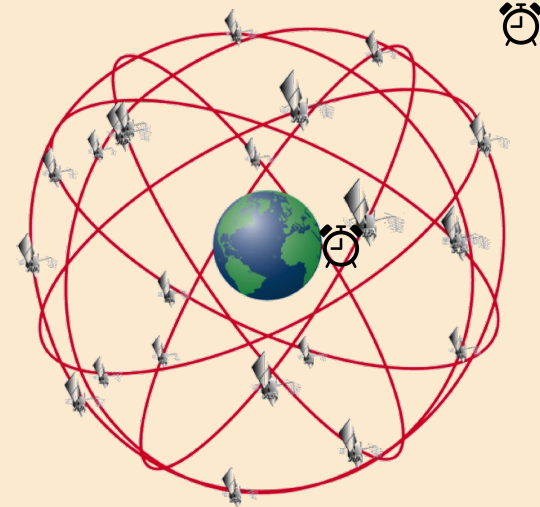
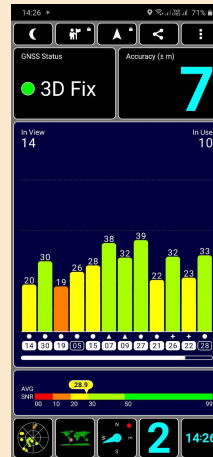
Abstract. During October 1971, four cesium beam atomic clocks were flown on regularly scheduled commercial jet flights around the world twice, once eastward and once westward, to test Einstein's theory of relativity with macroscopic clocks. From the actual flight paths of each trip, the theory predicts that the flying clocks, compared with reference clocks at the U.S. Naval Observatory, should have lost 40 ± 23 nanoseconds during the eastward trip, and should have gained 275 ± 21 nanoseconds during the westward trip. The observed time differences are presented in the report that follows this one.

Science, v. 177



O tempo da superfície da terra passa mais devagar que no satélite (~38 us/dia ou 11km se você não corrigir !!)

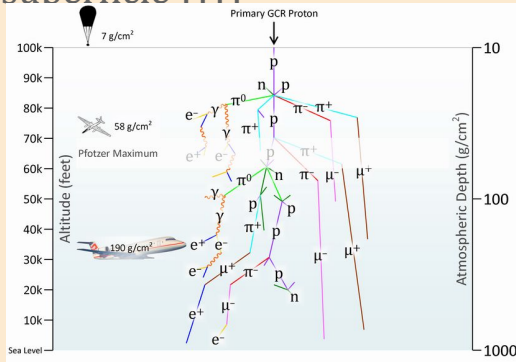
Movimento relativo (relatividade restrita)
Campo gravitacional (relatividade geral)



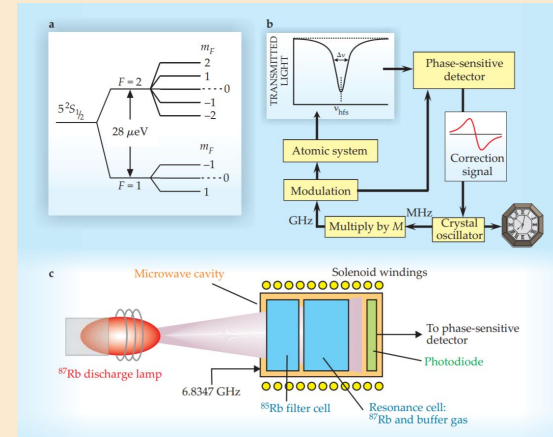
App. Celular para GPS

Relatividade, Relógios atômicos, GPS e múons (II)

- Múons the vida média de 2.2×10^{-6} s
- Se viajarem próximo à velocidade da luz, todos os múons devem decair após percorrem 650m
- Mas os múons são produzidos na alta atmosfera (~10km de altitude)
- Como é possível que nós detectemos múons na superfície ????



Preciso medir o tempo com precisão
 Recorro a processos físicos bem determinados
 Relógios atômicos : desvio de $\sim 5 \times 10^{-10}$ s/ano (Rb)
 até



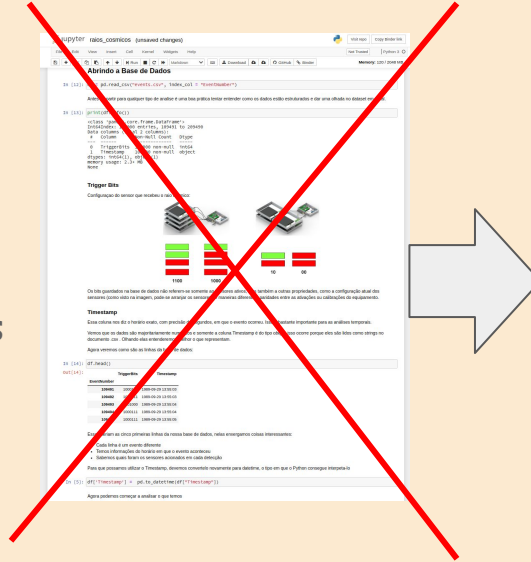
- Relatividade restrita: quanto mais próxima a sua velocidade, mais lentamente o tempo no seu referencial



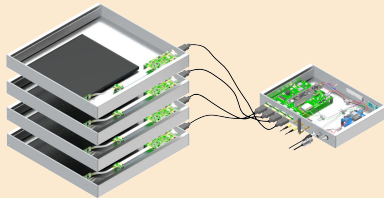
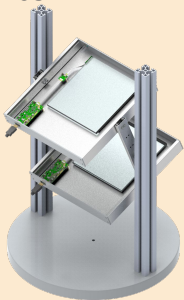
Medindo múons

- Quantos múons/s chegam no meu detector ?
- Qual a variação no fluxo ? Dia/Noite , condição atmosférica
- O fluxo é o mesmo em qualquer direção ? Ou inclinação ?
- O que acontece quando aumento o número de detectores ?
- Como posso correlacionar eventos em estações próximas ?
- Existe alguma dependência com as condições atmosféricas?
- Como sei se o meus dados são bons ?
- Etc. ...

Toda análise feita via o navegador de internet

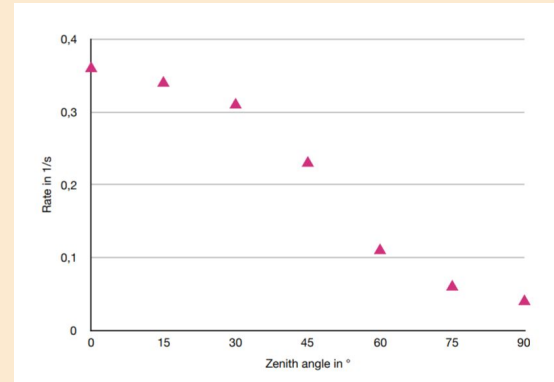
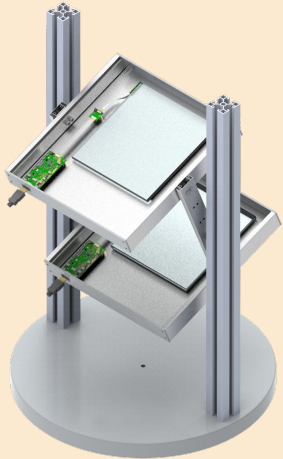


- "Point-and-click" framework
 - Similar ao MC ATLAS Z, W
 - Precisa ser desenvolvido...



Medindo múons

- Distribuição do fluxo de múons vs. ângulo.
- Como meço a inclinação ?
- Qual o intervalo entre cada medida ?
- E se eu mudar a orientação ?
- Qual a "resolução angular" do meu sistema ?



Atual esboço da sequência



Preparado pelo João G. durante o mestrado