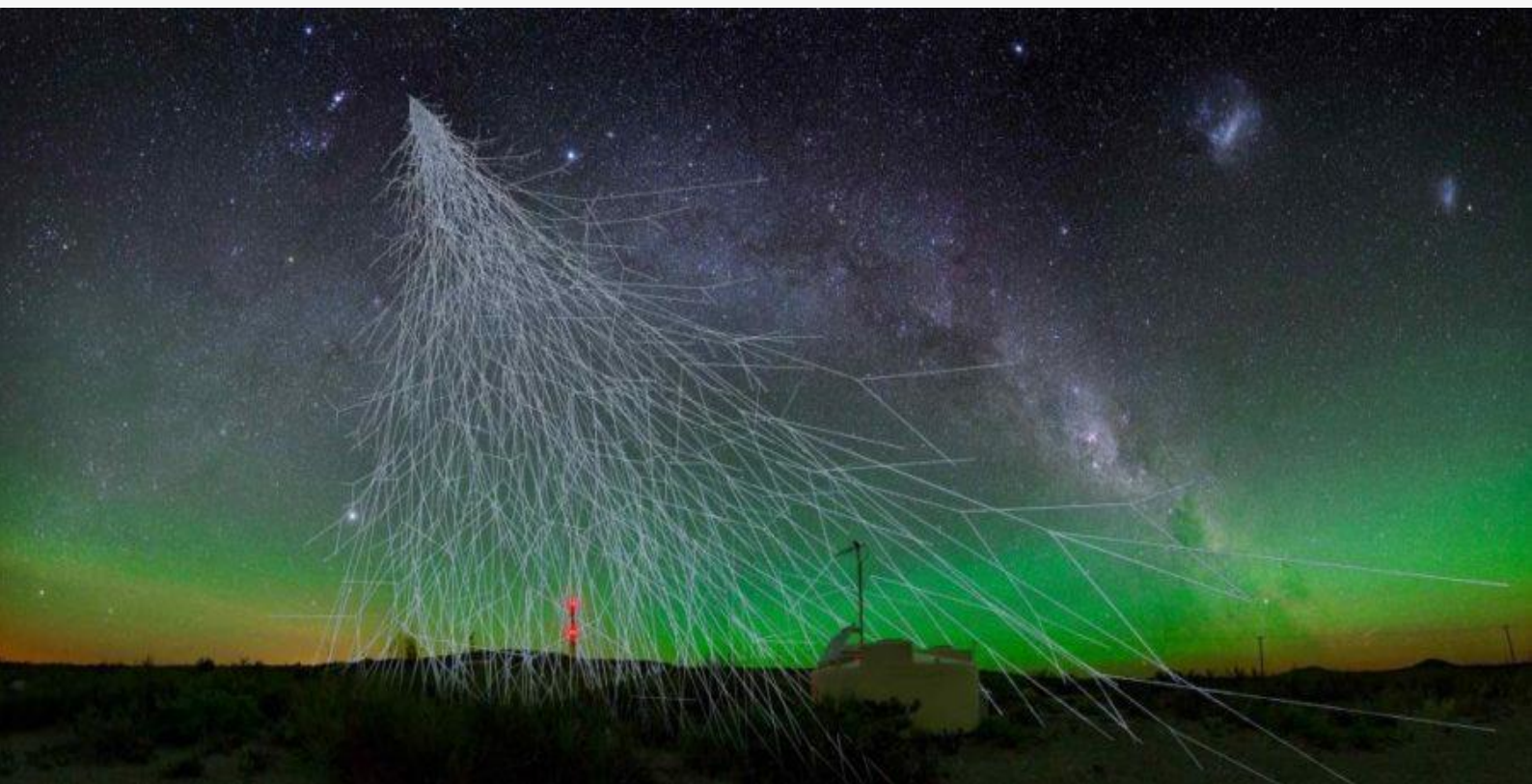


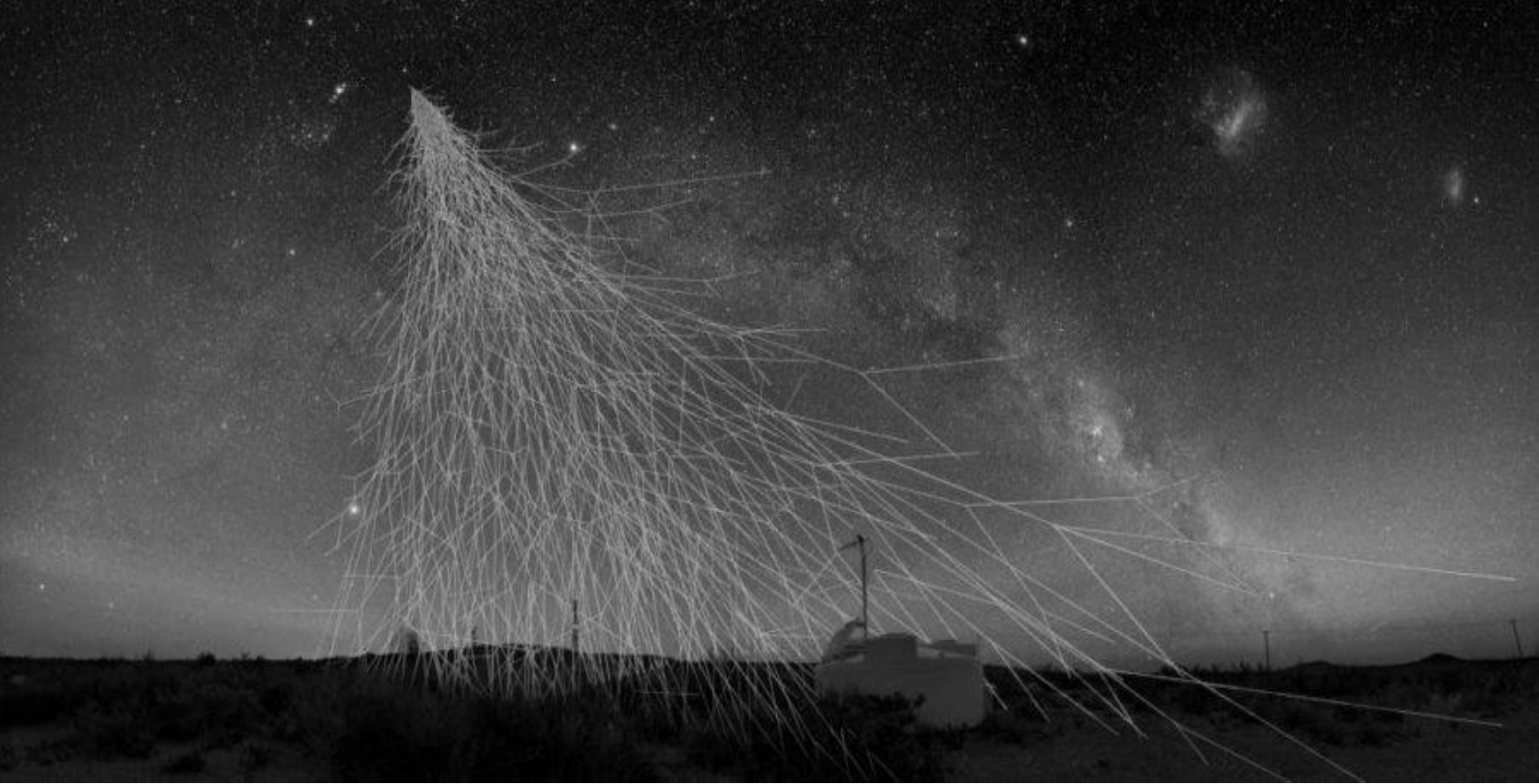
UEUDISON ALVES GUIMARÃES  
ADELLANE ARAUJO DE SOUSA



## Material Instrucional

**CHUVA DE RAIOS CÓSMICOS:  
uma sequência didática de Física  
moderna e contemporânea para  
o ensino médio**

UEUDISON ALVES GUIMARÃES  
ADELLANE ARAUJO DE SOUSA



## Material Instrucional

# **CHUVA DE RAIOS CÓSMICOS: uma sequência didática de Física moderna e contemporânea para o ensino médio**

© 2025 – Editora MultiAtual

[www.editoramultiatual.com.br](http://www.editoramultiatual.com.br)

editoramultiatual@gmail.com

### **Autores**

Ueudison Alves Guimarães

Adellane Araujo de Sousa

**Editor Chefe:** Jader Luís da Silveira

**Editoração e Arte:** Resiane Paula da Silveira

**Capa:** Freepik/MultiAtual

**Revisão:** Os autores

### **Conselho Editorial**

Ma. Heloisa Alves Braga, Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais, SEE-MG

Me. Ricardo Ferreira de Sousa, Universidade Federal do Tocantins, UFT

Me. Guilherme de Andrade Ruela, Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF

Esp. Ricael Spirandeli Rocha, Instituto Federal Minas Gerais, IFMG

Ma. Luana Ferreira dos Santos, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Ana Paula Cota Moreira, Fundação Comunitária Educacional e Cultural de João Monlevade, FUNCEC

Me. Camilla Mariane Menezes Souza, Universidade Federal do Paraná, UFPR

Ma. Jocilene dos Santos Pereira, Universidade Estadual de Santa Cruz, UESC

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Dra. Haiany Aparecida Ferreira, Universidade Federal de Lavras, UFLA

Me. Arthur Lima de Oliveira, Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do RJ, CECIERJ

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Chuva de raios cósmicos: uma sequência didática de Física moderna e contemporânea para o ensino médio  
G963c / Ueudison Alves Guimarães; Adellane Araujo de Sousa. – Formiga (MG): Editora MultiAtual, 2025. 57 p. : il.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86013-89-4

DOI: 10.29327/5555659

1. Física – Estudo e ensino. 2. Educação, pesquisa e tópicos relacionados. I. Guimarães, Ueudison Alves. II. Sousa, Adellane Araujo de. III. Título.

CDD: 530.07

CDU: 37

*Os conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam responsabilidade de seus autores.*

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora MultiAtual

CNPJ: 35.335.163/0001-00

Telefone: +55 (37) 99855-6001

[www.editoramultiatual.com.br](http://www.editoramultiatual.com.br)

[editoramultiatual@gmail.com](mailto:editoramultiatual@gmail.com)

Formiga - MG

Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

*Acesse a obra originalmente publicada em:*

<https://www.editoramultiatual.com.br/2025/05/chuva-de-raios-cosmicos-uma-sequencia.html>



# **Chuva de raios cósmicos: uma sequência didática de Física moderna e contemporânea para o ensino médio**

Ueudison Alves Guimarães

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física intitulado *Chuva de raios cósmicos: uma sequência didática de Física moderna e contemporânea para o ensino médio*, sob a orientação do Prof. Dr. Adellane Araujo Sousa, junto ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Mato Grosso.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| APRESENTAÇÃO .....                                 | 7  |
| 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....                      | 9  |
| 1.1 Os objetos digitais de aprendizagem.....       | 9  |
| 1.2 Momentos pedagógicos .....                     | 10 |
| 1.3 A inteligência artificial EzDubs.ai.....       | 12 |
| 2. METODOLOGIA .....                               | 14 |
| 3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....                        | 17 |
| 3.1 Os raios cósmicos .....                        | 17 |
| 3.2 História da radioatividade .....               | 24 |
| 3.3 Energia relativística .....                    | 29 |
| 3.3.1 Dilatação temporal relativística.....        | 35 |
| 3.4 Campo magnético da Terra.....                  | 38 |
| 3.5 Magnetosfera da Terra .....                    | 40 |
| 3.6 Chuveiros cósmicos e a radiação Cherenkov..... | 42 |
| 3.7 O aplicativo CREDO .....                       | 46 |
| 3.8 Identificação das partículas.....              | 51 |
| 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                      | 55 |
| REFERÊNCIAS .....                                  | 56 |



## APRESENTAÇÃO

Este material instrucional apresenta uma sequência didática de quatorze (14) horas/aulas, enfatizando experimentações que tiveram como objetivo explicar a estudantes do 3º ano do ensino médio o fenômeno dos raios cósmicos e sua importância para a formação dos alunos.

O produto educacional aqui apresentando foi hospedado em um Website. O Website é composto por 8 páginas principais, cada uma versando sobre um determinado tema. O site pode ser acessado diretamente através do *QRcode* abaixo ou pelo *link* de acesso <http://www.fisicaagora.com.br>. Também foi criado um canal no YouTube para anexar os vídeos traduzidos pela inteligência artificial (EzDubs.ai). A conta pode ser acessada através do *link*: <https://www.youtube.com/@fisicaagoracomprofueudison>.



Além do conteúdo de nossa própria autoria, cada página conta com conteúdos, vídeos curtos didáticos, fotos, *gifs* e animações que contribuem para o processo de ensino-aprendizagem. Utilizamos princípios do design instrucional para que o material pudesse ser atrativo para o leitor, despertando o interesse e motivando-o a navegar no *site*. Os *gifs* animados auxiliam a explorar o conteúdo de uma maneira descontraída e facultando ao leitor o momento de acessar as leituras, uma vez que estão “fora” do texto principal.

Recomenda-se aos docentes que as experimentações ocorram após a aplicação das aulas teóricas que versem sobre os raios cósmicos. No desenvolvimento da sequência

didática, ora apresentada, optou-se, como referencial educacional, pela adoção dos três momentos pedagógicos desenvolvidos por Delizoicov e Angotti (2002).

De acordo com esses autores é preciso nortear e facilitar a aquisição do conhecimento do discente, tendo como base a criação de possibilidades para que o aluno associe o conhecimento aprendido com a sua própria realidade. Partindo dessa compreensão, Delizoicov e Angotti (2002) elaboraram a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos em três etapas, que foram o norte para o desenvolvimento deste produto.

No primeiro momento pedagógico, ocorreu a problematização inicial e se buscou mostrar aos discentes a compreensão de que algumas situações necessitam de conhecimento científico, enquanto no segundo momento pedagógico serão apresentados aos alunos os novos conhecimentos de Física, que não estão ligados diretamente ao tema proposto na problematização inicial. Por fim, o terceiro passo da sequência didática foi retomar os questionamentos da problematização inicial. Ainda foi verificado nessa fase, se houve evoluções nas respostas e na compreensão dos alunos.

Ainda nesse momento, os alunos foram estimulados a apresentar seus conhecimentos, que poderão ser mensurados através da realização de experimentos e do uso do aplicativo de celular CREDO. O objetivo deste aplicativo foi usar a câmera do celular para registrar a interação dos raios cósmicos primários como o sensor CMOS. Essas interações tiveram seus registradas em fotos e enviadas pelo celular para o projeto CREDO onde ficaram à disposição do público interessado e de especialistas.

Essas fotos mostraram a interação de partículas cósmicas como o múon, elétron e fóton com o sensor. O professor, ao trazer uma aplicação específica, juntamente com os alunos, fez a classificação das partículas encontradas, tendo sido feito através de um processo de competição entre grupos de estudantes com o intuito de verificar qual grupo obtém mais fotos do fenômeno.





## 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.1 Os objetos digitais de aprendizagem

A presença crescente da tecnologia na sociedade moderna trouxe consigo uma série de transformações significativas, tornando-se um elemento indispensável no cotidiano das pessoas. A educação escolar, por sua vez, necessita se adaptar às expectativas dos alunos contemporâneos, muitas vezes chamados de nativos digitais, que têm uma relação intrínseca com as tecnologias. Para atender às necessidades desses estudantes, é crucial integrar as tecnologias em suas práticas de ensino diárias e no currículo escolar. Nesse sentido, os Objetos Digitais de Aprendizagem (ODA) podem representar uma alternativa viável para auxiliar os professores na incorporação das tecnologias ao currículo oficial, ao mesmo tempo em que ajudam a promover mudanças em suas abordagens pedagógicas.

Antes, porém, os Objetos de Aprendizagem (AO) eram considerados instrumentos de natureza digital ou não. No entanto, após a crescente demanda de estudos com base no *e-learning*, o ensino passa a ter o apoio significativo de ferramentas tecnológicas, o que promoveu a utilização dos ODA. Silva (2006) esclarece que é necessário que a criação desses objetos esteja planejada e visem potencializar sua utilização de forma genérica.

Pedagogicamente “o ensino é beneficiado com o uso dessas novas tecnologias em prol do desenvolvimento das práticas pedagógicas, que vêm evoluindo com muita rapidez do lado das plataformas interativas” (Silva, 2006, p.18). Além disso, os ODA têm como uma de suas vantagens, a atualização e reutilização, pois podem ser facilmente atualizados para refletir informações e conteúdos mais recentes. Além disso, eles podem ser reutilizados em diferentes contextos educacionais, economizando tempo e recursos.

Há, no entanto, algumas características, segundo Freitas (2022) para que ocorra o desenvolvimento do ODA, dentre as quais se destacam, o reuso, adaptação de ambiente de ensino, granularidade, acesso relacionado à internet, mudanças de tecnologias, interfaces e sistemas operacionais. Na concepção de Mercado *et al.* (2008, p.11)

As características de um ODA encontram-se inter-relacionadas e pode-se dizer que quanto maior o número de características atendidas por um ODA, melhor a qualidade desse instrumento, não só em relação à motivação dos alunos, mas também como um suporte para um melhor desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem.

Desse modo, ao serem indicados na educação, o professor precisa ter em mente a relevância do que será criado pelo ODA, contemplando o aprendizado personalizado, sustentável e inclusivo a um público amplo e que pode ser explorado a partir de variados modelos desde textos ou até mesmo habilidades complexas.

## **1.2 Momentos pedagógicos**

### **Primeiro Momento Pedagógico**

Nesse primeiro momento ocorreu a problematização inicial. Desse modo, buscou-se mostrar aos discentes que a compreensão de algumas situações necessita de conhecimento científico. Conforme Freire (2005) através do diálogo os alunos são desafiados a exporem o que pensam. Esse desafio é um estímulo para a busca de novos conhecimentos. Nesse cenário, apresentou-se a tabela 1 a problematização inicial.

Tabela 1 - Primeiro passo da sequência didática  
**Problematização Inicial**

| Aulas    | Tópico  | Recurso  |
|----------|---|--|
| Duas (2) | Introdução histórica e abordagem geral e Descoberta e investigações iniciais. | Aula expositiva e dialogada, com apresentação da proposta a ser desenvolvida.<br>Também foi mostrado um vídeo mostrando o fenômeno da chuva de raios cósmicos (para perceberem o objeto de estudo) |

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Descoberta de partículas elementares. | de <a href="https://www.youtube.com/watch?v=xU4eu pQITUw">https://www.youtube.com/watch?v=xU4eu pQITUw</a> .   |
| Descoberta de chuvas atmosféricas.    | Foi mostrado aos alunos fotos de raios cósmicos.<br><br>Em seguida, aplicação de um questionário inicial individual em material impresso para verificar como a problematização envolvendo o fenômeno começou a ser percebido pelos alunos. |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## Segundo Momento Pedagógico

Nesse momento os alunos foram apresentados aos novos conhecimentos de Física, que não estão ligados diretamente ao tema proposto na problematização inicial. De acordo com Delizoicov *et al.* (2002), nessa etapa o professor se posicionará como mediador, ajudando os alunos na organização do conhecimento.

Tabela 2 - Segundo passo da sequência didática: organização do conhecimento

| <b>Organização do Conhecimento</b> |  |  |
|------------------------------------|--|--|
| Aulas                              | Tópico   | Recurso  |
| Duas (2)                           | Apresentação da formação dos raios cósmicos e os conceitos físicos relacionados como energia relativística, decaimento radioativo e dilatação temporal relativística | Aulas expositivas e dialogadas com o uso de slides apresentando a formação dos raios cósmicos secundários através de reações nucleares específicas envolvendo a produção dos múons.          |
| Duas (2)                           | <b>Raios cósmicos e o sol</b><br>Os raios cósmicos produzidos pelo sol.  | Aula expositiva e dialogada com uso de <i>slides</i> apresentando o ciclo solar, a estrutura solar heliosfera, a modulação de raios cósmicos e galácticos pelo sol e raios cósmicos solares. |
| Duas (2)                           | Interação dos raios seja do Sol ou de outras fontes com o campo magnético da Terra que atua como protetor e também como uma espécie de guia desses raios.            | Aula conceitual sobre a magnetosfera da Terra e a interação com os raios cósmicos. Faremos o uso de vídeos.  |

|          |   |  |
|----------|---|--|
| Duas (2) | <b>Chuveiros cósmicos</b><br>Explicar para os alunos, o que está acontecendo em cada parte da chuva | Aulas expositivas com a utilização de ilustrações. Foi apresentado o fenômeno da chuva de raios cósmicos, como são produzidos e como podem ser detectados. |
|----------|---|--|

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Segundo Delizoicov *et al.* (2002) no segundo momento pedagógico entre os recursos que podem ser utilizados estão: experiências, formulação de questões, aula expositiva, narrativas, texto para discussões, entre outros.

### Terceiro Momento Pedagógico

Nessa fase, os questionamentos da problematização inicial foram retomados. Para Delizoicov *et al.* (2002) os professores poderão, nessa etapa, verificar se houve evoluções nas respostas e na compreensão dos alunos. Ainda nesse momento, os alunos foram estimulados a apresentarem seus conhecimentos, que poderão ser mensurados através da resolução de questões discursivas, realização de experimentos, entre outros.

Tabela 3 - Terceiro passo da sequência didática: aplicação do conhecimento

| <b>Aplicação do Conhecimento</b> |  |   |
|----------------------------------|--|---|
| Aulas                            | Tópico   | Recurso   |
| Duas (2)                         | Apresentação do aplicativo e do funcionamento do detector das partículas por meio do celular | Aulas com slides e quadro negro com uso do aplicativo CREDO e de um celular.  |
| Duas (2)                         | Realizar de um experimento para detecção e identificação das partículas dos raios cósmicos   | Utilização de um aplicativo para identificação das partículas dos raios cósmicos detectados pela câmera do celular. |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 1.3 A inteligência artificial EzDubs.ai

A Inteligência Artificial (IA) conhecida de *EzDubs.ai* dubla vídeos e realiza transmissões ao vivo em diferentes idiomas em tempo real, preservando a voz do locutor original. A tradução dos vídeos são totalmente automatizadas e sob demanda na Internet. A IA desbloqueia públicos internacionais permitindo que os visitantes traduzam vídeos instantaneamente em sua plataforma.

Os vídeos traduzidos ficam disponíveis em segundos, são reproduzidos no local e mantêm a voz do locutor original. O vídeo traduzido será enviado para o *e-mail* cadastrado. Para acessarem aos vídeos traduzidos deve-se fazer um cadastro na plataforma. Através do link <https://www.ezdubs.ai/> o usuário/visitante criará o cadastro na plataforma e terá acesso aos vídeos disponibilizados neste produto educacional.



## 2. METODOLOGIA

Este capítulo foi organizado segundo os procedimentos de aplicação de cada aula, cuja aplicação do produto foi elaborada pelo professor, seguindo a abordagem pedagógica dos três momentos conforme descreve-se na sequência.

A aula 01 teve início com algumas perguntas: “Vocês já tinham ouvido falar dos raios cósmicos? E que estes produzem um fenômeno chamado de Chuva de Raios Cósmicos? Como ocorre a chuva de raios cósmicos? O questionário avaliativo individual foi passado para os alunos para que analisassem o impacto e reconhecimento do fenômeno dos raios cósmicos em seu cotidiano. O questionário foi respondido em sala de aula, no final da apresentação, em que sua disponibilidade teve um tempo de uma hora aula no final da apresentação. O questionário avaliativo individual foi passado para os alunos para analisarem o impacto e reconhecimento do fenômeno dos raios cósmicos em seu cotidiano.

A aula 02 teve sua abordagem expositiva e dialogada. Assim, para facilitar a compreensão dos alunos sobre a radiação foi explicado o papel de Marie e Pierre Curie em sua descoberta. No vídeo que mostra a história da radioatividade foi possível através do *link* <https://ezdubs-vod-api.com/result/1FXUfK C8jY en pt>. Os estudantes responderam em sala de aula as atividades referentes à história da radiação e a formação de raios cósmicos.

Para a aula 03 se propôs as abordagens expositiva e dialogada, por se acreditar que nesse sentido, haveria mais facilidade de compreensão por parte dos alunos sobre os conceitos ensinados, tanto a partir do diálogo quanto de imagens expostas através de vídeos. O primeiro vídeo que pôde ser encontrado no *link* <https://www.youtube.com/watch?v=i1sQuVmBXb8>, trouxe uma simulação de uma chuva devido a um próton e explica os rastros de eventos individuais presentes na chuva

A aula 04, a exemplo das aulas 02 e 03 foi expositiva e dialogada. Visando facilitar a compreensão dos alunos sobre os conceitos ensinados também foram usados vídeos. A aula teve seu início através de explicação sobre como o campo magnético da Terra deflete os raios cósmicos vindos do Sol (vento solar). Depois foi apresentado o vídeo demonstrando como o campo magnético da nossa terra deflete os raios cósmicos solares visto no vídeo no *link* [https://ezdubs-vod-api.com/result/URN-XyZD2vQ\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/URN-XyZD2vQ_en_pt). O vídeo mostra que o campo magnético da Terra atua como escudo contra os raios cósmicos vindos do Sol através do plasma ejetado. Na sequência os alunos responderam às questões discursivas.

A aula 05 compreendeu a abordagem expositiva e dialogada com o objetivo de facilitar a compreensão dos alunos sobre os conceitos do conteúdo, além de também terem usado o seguinte vídeo no Youtube, para em seguida responderem questões abertas.

- A magnetosfera da Terra pode ser visualizada no vídeo do Youtube por meio do vídeo no *link* [https://www.youtube.com/watch?v=TmLPBjFw\\_jM](https://www.youtube.com/watch?v=TmLPBjFw_jM). Esse vídeo explica a magnetosfera como um campo de força magnética.

Quanto à aula 06 foi trazido recurso expositivo, cujo foco foi compreender que a chuva de raios só acontece quando a partícula primária é extraordinariamente energética (que é um evento raro). Quando isso acontece, seja a partícula primária um próton ou gama, é possível detectar no fenômeno, uma luz azulada, conhecida como radiação Cherenkov.

Essa luz surge quando as partículas produzidas na chuva no ar viajam mais rápido do que a velocidade da luz no ar. A velocidade da luz no ar é menor do que a velocidade no vácuo, mas as partículas secundárias produzidas são tão energéticas que ultrapassam a velocidade da luz no ar. Como visto no vídeo: [https://ezdubs-vod-api.com/result/BIItsAapGch0\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/BIItsAapGch0_en_pt).

O aplicativo CREDO foi o foco da aula 07, o qual foi apresentado aos estudantes, permitindo que eles aprendessem a baixá-lo da loja de aplicativos da *PlayStore*. Os alunos aprenderam como se cadastrar no *site* do projeto e fazer o *login* no aplicativo. As etapas do funcionamento do detector do celular foram passadas aos estudantes e aprenderam, por meio de imagens, os tipos de partículas que poderão ser detectadas com o dispositivo e como operar o aplicativo em associação com a câmera para obter as imagens. Por fim, assimilaram que as imagens vão ficar armazenadas tanto no dispositivo como no site do

projeto. Essas imagens no *site*, poderão ser localizadas conforme a data das fotos e com o auxílio do nome usado para fazer o login no site.

Finalizando o cronograma das aulas, no oitavo encontro com a turma, os alunos usaram a câmera de celular para fotografar as partículas dos raios cósmicos, tanto como trabalho extraclasse como atividade em sala de aula. O professor estipulou um prazo de um 03 a 07 dias para os alunos fazerem o experimento em casa e também usar uma hora-aula para os alunos fazerem o experimento em sala. A turma foi dividida em grupo de 05 pessoas e cada grupo teve como incumbência fazer o experimento, podendo usar até um celular por aluno.

Ao final do processo, os alunos apresentaram uma tabela mostrando o número total de partículas detectadas por grupo, com o número de partículas versus tipo de partícula detectada como elétrons, múons e fotos de raios gama bem como uma fotografia feita pela câmera exemplificando cada tipo de partícula. Venceu a competição quem fotografou mais partículas e também o grupo que conseguiu identificar mais partículas. Antes da realização dos experimentos foi apresentada aos alunos uma simulação da chuva cósmica no detector da superfície do Observatório Pierre Auger com o objetivo de mostrar aos alunos que as partículas podem ser detectadas por instrumentos especiais de projetos de organizações científicas em colaboração internacional.

A principal característica visível do Observatório Pierre Auger são os 1.660 tanques detectores de superfície de água que cobrem cerca de 3.000 km<sup>2</sup> do Pampa Amarília, oeste argentino ocupando uma área cerca de 30 vezes o tamanho de Paris. A simulação está no link [https://ezdubs-vod-api.com/result/ldDEFekZ100\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/ldDEFekZ100_en_pt).





### 3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

#### Aula 1 - Apresentação do fenômeno dos raios cósmicos aos alunos

##### Introdução

Nesta aula apresentamos a proposta do nosso projeto desenvolvido sobre a detecção de raios cósmicos. Ao final dessa aula, foi aplicado um questionário inicial individual sobre alguns aspectos relacionados ao fenômeno dos raios cósmicos e sua importância.

**Duração da aula - 1 hora**

##### Objetivos

- Apresentar aos alunos, o fenômeno dos raios cósmicos e a formação da chuva de raios cósmicos e discutir com os estudantes sobre sua importância na compreensão da realidade que nos cerca e os eventuais perigos de sua existência.
- Aplicar um questionário aos alunos sobre envolvendo a problemática em questão.

#### 3.1 Os raios cósmicos

Os raios cósmicos são partículas carregadas, principalmente prótons e núcleos de hélio, que chegam isotropicamente (ou seja, exibindo o mesmo comportamento em todas as direções) do espaço e bombardeiam continuamente a atmosfera da Terra. Eles foram descobertos por Victor Hess em 1912, quando ele mediu um nível crescente de radiação na atmosfera com a altitude, usando seu balão para atingir uma altura de 5,3 km. Ele

postulou corretamente a origem extraterrestre dos raios cósmicos e recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1936 por sua descoberta.

Os Raios Cósmicos Primários são partículas carregadas estáveis que foram aceleradas a enormes energias por fontes astrofísicas em algum lugar do nosso universo. Eles devem ser estáveis (tempos de vida superiores a um milhão de anos), a fim de sobreviver às longas viagens pelo espaço interestelar (ou intergaláctico). Eles são carregados porque o mecanismo acelerador é provavelmente eletromagnético e porque sua carga é o que interage com a matéria e produz os efeitos que podemos ver facilmente aqui na Terra.

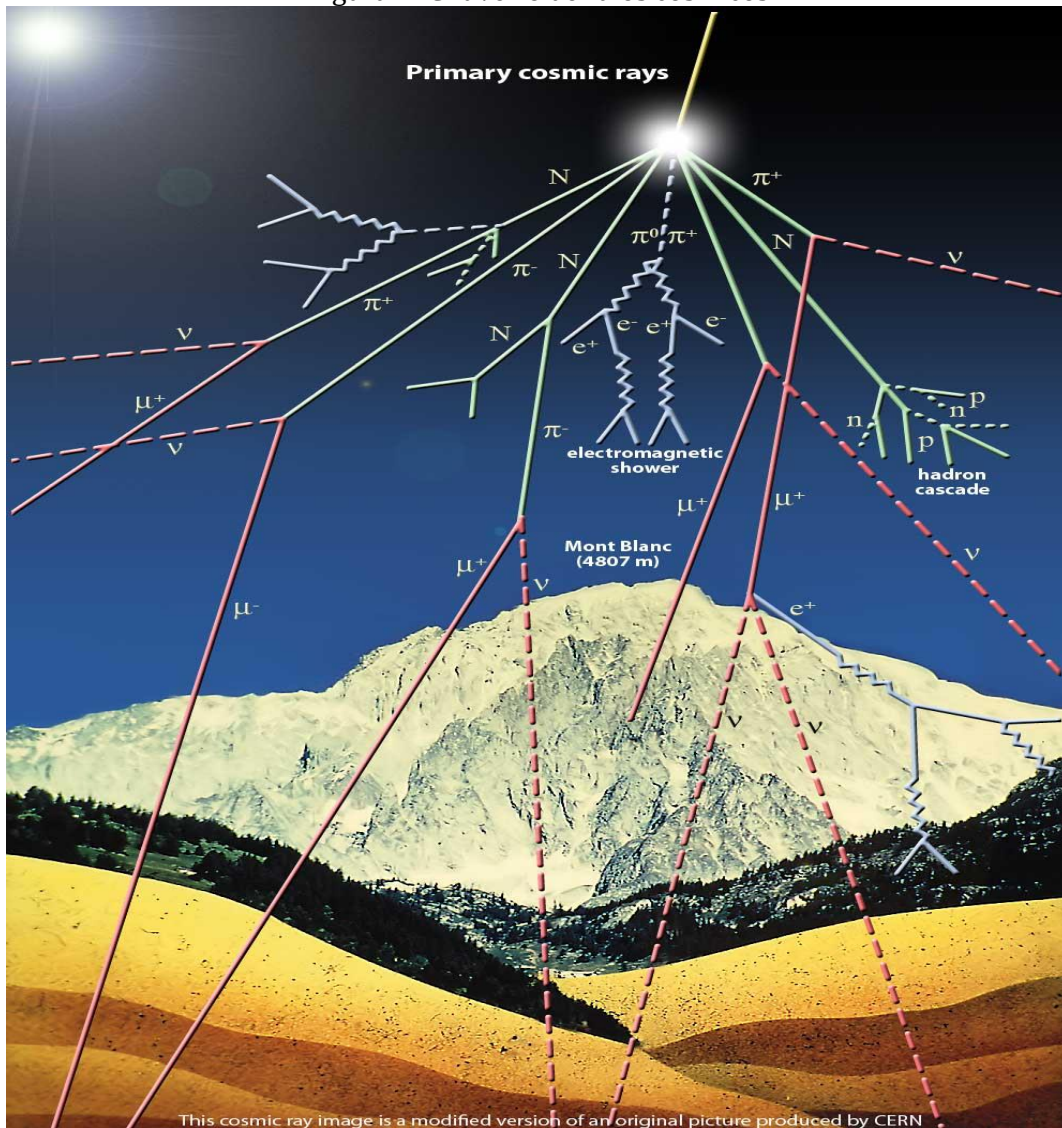
Eles têm uma gama de energias de  $10^9$  eV (1GeV) até  $10^{20}$  eV ( $10^8$  TeV), que supera o melhor que podemos alcançar nos últimos aceleradores aqui na Terra (cerca de 7 TeV). Com o objetivo de produzir um impacto inicial nos alunos e aguçar a curiosidade.

Na figura 01, mostrou-se aos alunos a representação uma chuva de raios cósmicos a partir da interação de um raio cósmico primário com o topo da atmosfera. No gráfico estão representadas algumas características dessa chuva como a chuva eletromagnética e a cascata de hádrons<sup>1</sup> culminando com a produção de múons, chamados de raios cósmicos secundários que viajam até o solo, onde podem ser detectados por meio de instrumentos adequados.

---

<sup>1</sup> São partículas constituídas de quarks: *bárions* quando formadas por três quarks ou três antiquarks, ou *mésons* quando constituídas por um quark e um antiquark (Moreira, 2009).

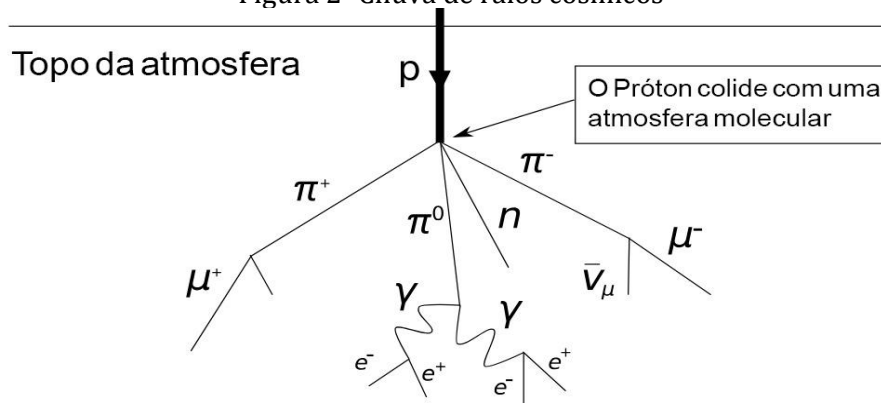
Figura 1- Chuveiro de raios cósmicos



Fonte: Google (2023).

Conforme podemos ver com mais detalhes na figura 02, para que ocorra a chuva, no topo da atmosfera, os prótons colidem como uma molécula atmosférica.

Figura 2- Chuva de raios cósmicos

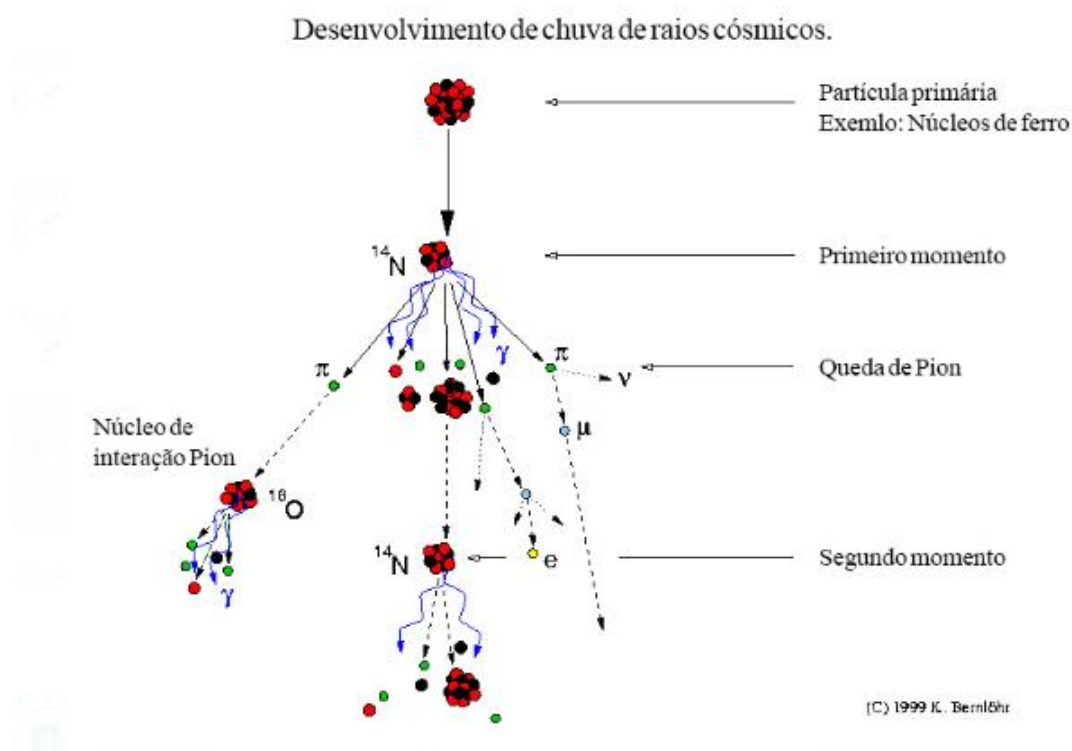


Fonte: Google (2023).

A partir daqui será explicado os dois tipos de chuva com partículas primárias diferentes: a de prótons e raios gama. Também é comentado brevemente que o núcleo do átomo também pode ser um raio primário.

Já os raios gama podem ser compreendidos como uma radiação eletromagnética de alta frequência, que pode ser altamente prejudicial à saúde.

Figura 3 - Tipos de chuvas com partículas elementares



Fonte: Google (2023).

A figura 03 mostra um núcleo de um átomo como o núcleo de ferro como partícula primária que colide com nitrogênio da atmosfera produzindo a chuva de raios a seguir. Em seguida apresenta-se aos estudantes a proposta do produto educacional e a história da Física, das chuvas de raios cósmicos e eletromagnéticos para explicar as situações vistas nas figuras. Para concluir será levantado os questionamentos relacionando ao primeiro momento pedagógico, a problematização inicial de Paulo Freire aplicando-se um questionário para cada estudante contendo onze questões diversificadas sobre física envolvendo altas energias.

## **Referências**

BUSTAMANTE, Martha Cecilia. A descoberta dos raios cósmicos ou o problema da ionização do ar atmosférico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/5Rc9cRlpWwgC9gdDkhS6R5d/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

DIAS, Diogo Lopes. "O que é radiação?"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-radiacao.htm>. Acesso em: 15 Abr. 2023.

## ATIVIDADES

**I - Assistir aos seguintes vídeos que trazem informações sobre a introdução aos raios:**

- 1- Esse vídeo que pode ser acessado no seguinte *link*: [https://ezdubs-vod-api.com/result/bKbMARsE-4\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/bKbMARsE-4_en_pt), e versa sobre o mistério da alta energia dos raios cósmicos.

Figura 4 - Energia dos raios cósmicos



Fonte: EzDubs (2023).

2 - Já no próximo *link*: [https://ezdubs-vod-api.com/result/-J54HjCRdaA\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/-J54HjCRdaA_en_pt), apresenta-se um vídeo explicativo sobre a formação dos raios cósmicos exemplificado na figura 05.

Figura 5 - Formação dos raios cósmicos



Fonte: Ezdubs (2023).

1- Supondo que os raios do sol podem prejudicar muito a pele, como se pode entender a formação desses raios?

---

---

2- De que forma pode ser compreendida a relação entre estes raios e a luz?

---

---

3- Conforme as explicações da aula, estes raios carregam ou depositam alguma energia na pele? Se a resposta for não, o que estes raios poderiam estar transportando? Se a resposta for sim, essa energia veio de onde?

---

---

4- O Sol pode emitir outras partículas além dos raios? Que coisas seriam essas?

---

---

5- A luz das estrelas vem do céu assim como a luz do Sol. Será que o céu transporta algo mais além da luz? Justifique sua resposta.

---

---



6- Essas emissões vindas do céu podem ser perigosas?

---

---

7- Quanto ao seu conhecimento acerca do nome raios cósmicos, o que seriam esses raios?

---

---

## **Aula 2 -Introdução histórica e visualização da radiação**

### **Introdução**

Nesta aula, ensinamos aos alunos sobre conceitos históricos e abordagem geral sobre a origem da radiação e a descoberta dos raios cósmicos. Apresentamos dados de quando foram descobertas as partículas elementares, e as chuvas atmosféricas. Também se abordou o espectro e composição dessas partículas e mostramos que o movimento das partículas radioativas carregadas pode ser visualizado em uma Câmara de Nuvens.

**Duração da aula - 1 hora**

### **Objetivos**

.

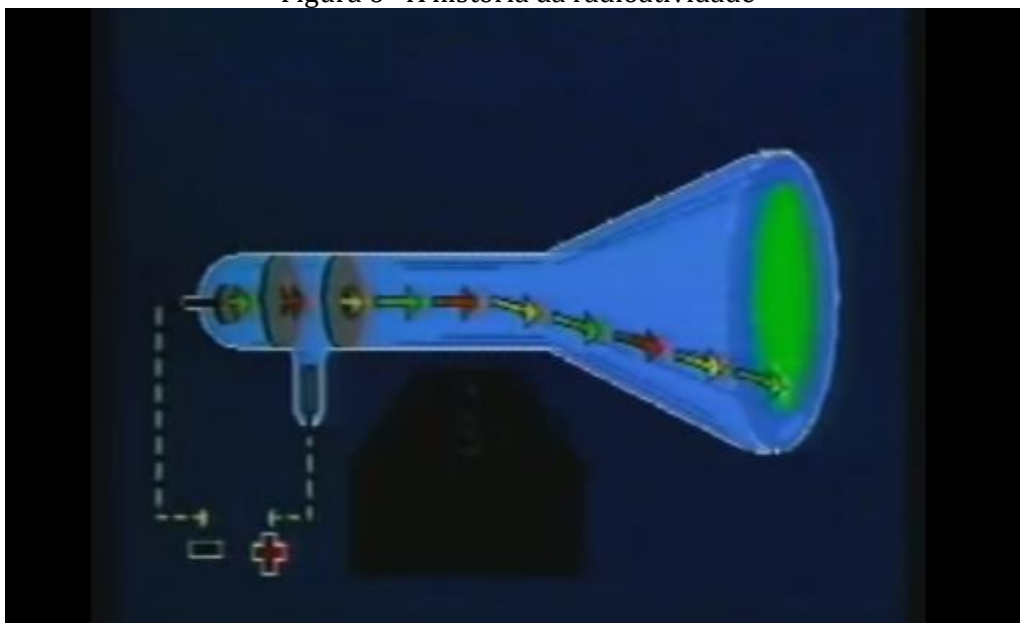
- Ensinar sobre a história da radioatividade e da descoberta dos raios cósmicos;
- Identificar as partículas elementares mais conhecidas;
- Classificar as partículas responsáveis pela radiação ionizante.

### **3.2 História da radioatividade**

No vídeo, que pode ser acessado pelo link [https://ezdubs-vod-api.com/result/IFXUfK\\_C8jY\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/IFXUfK_C8jY_en_pt), relata a história da radioatividade.



Figura 6 - A história da radioatividade



Fonte: Ezdubs (2023).

No vídeo [https://ezdubs-vod-api.com/result/tRztsySYeUI\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/tRztsySYeUI_en_pt) é mostrado a descoberta dos raios cósmicos. O vídeo utiliza novas técnicas interessantes para detectar raios gama de energia muito alta no espaço. Através desta investigação, a equipe espera não só descobrir mais fontes destes raios gama, mas também descobrir pistas sobre a composição das próprias fontes. Isso pode levar à detecção de matéria escura.

Figura 7 - Descoberta dos raios cósmicos

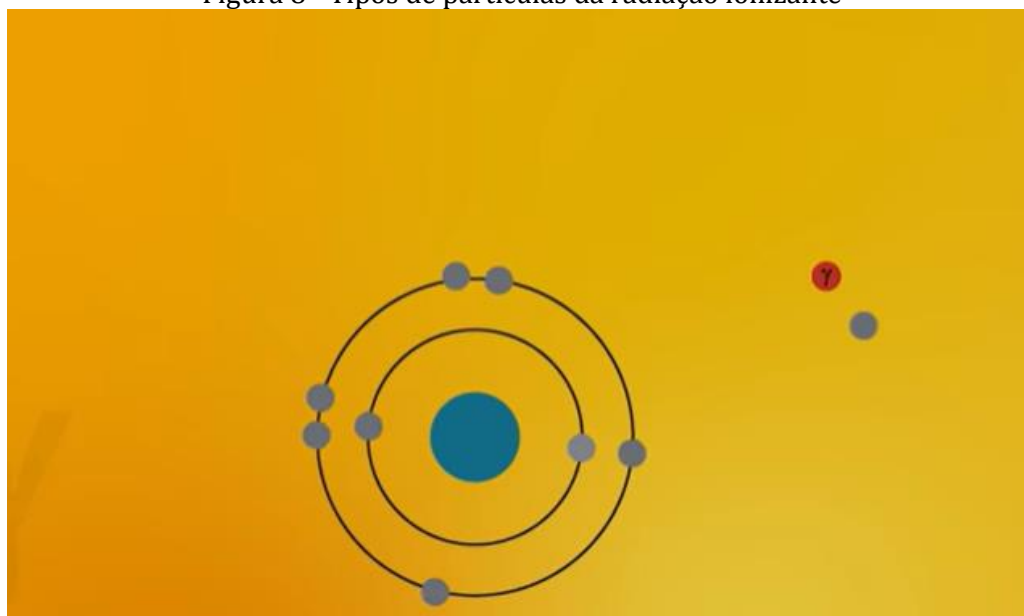


Fonte: Ezdubs (2023).

As radiações podem ser classificadas como não ionizantes como a maior parte das radiações eletromagnética (exceto os raios gama) e as ionizantes como as radiações alfa, beta e gama. As radiações ionizantes, ionizam a matéria, isto é, arrancam elétrons das órbitas dos átomos por meio de colisões deixando o átomo ionizado (faltando uma carga negativa).

As radiações ionizantes alfa e beta podem ser visualizadas em uma Câmara de Nuvens chamado de Câmara de Wilson. No vídeo que pode ser acessado no [link: https://ezdubs-vod-api.com/result/TxoY6rQ9Dsk\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/TxoY6rQ9Dsk_en_pt), é mostrado os tipos de partículas da radiação ionizante. Este vídeo demonstra como a radiação de núcleos radioativos causa ionização. Olhando para as diferenças entre radiação alfa, beta e gama. Nele também relata que a ionização é o processo de remoção de um elétron de um átomo.

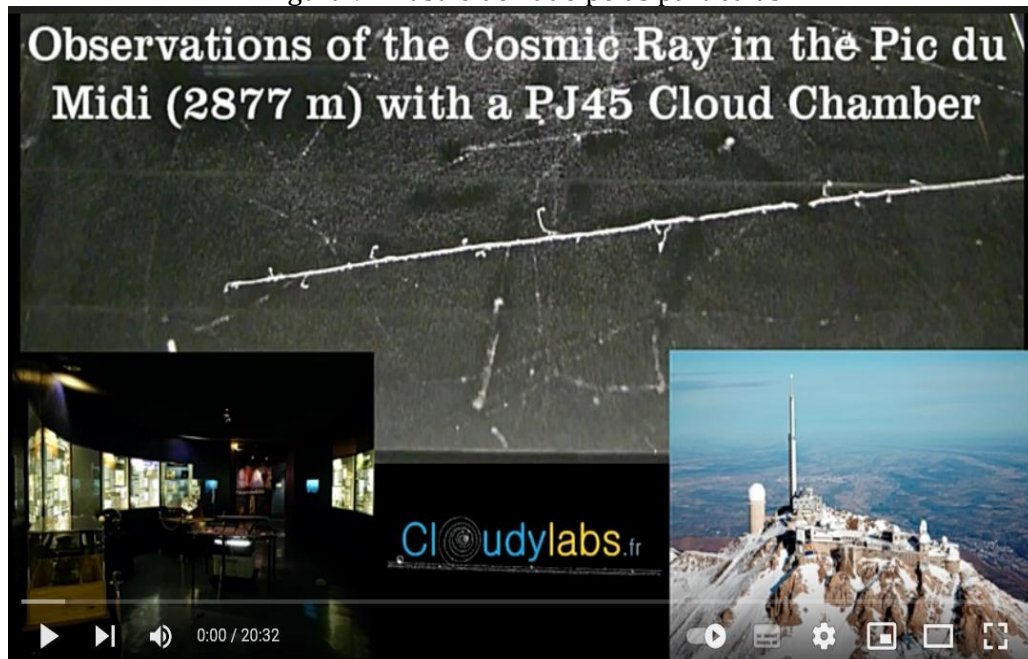
Figura 8 - Tipos de partículas da radiação ionizante



Fonte: Ezdubs (2023).

Algumas partículas envolvidas nos raios cósmicos como partículas dos raios primários e secundários como alfa, prótons, beta (elétrons), e múons podem ser visualizadas em um dispositivo chamado Câmara de Nuvens (Câmara de Wilson) que mostra os rastros deixados pelas partículas. No vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=SnKvtazt5So> é mostrado os rastros deixados pelas partículas em uma grande altitude.

Figura 9 - Rastro deixado pelas partículas



Fonte: Ezdubs (2023).

O vídeo mostra uma compilação de interações de prótons, chuva eletromagnética e espalção<sup>2</sup> de raios cósmicos em uma câmara de nuvens. Essas partículas podem interagir com a matéria e quebrar algum núcleo que libera outros prótons e nêutrons, partículas alfa ou dêuteron. A densidade de ionização em uma trilha é proporcional a  $z^2/v^2$  onde  $z$  é a carga da partícula e  $v$  sua velocidade. Assim, um próton com baixa energia cinética fará mais ionização, então o rastro será maior que o rastro de um próton de alta energia.

A fonte dos raios primários também podem ser raios gama altamente energéticos (ou elétrons entrantes energéticos), que podem produzir uma chuva eletromagnética (elétrons e pósitons) na matéria (parede da sala, ou parede da máquina que é feita com 1 cm de vidro). O  $e^+/e^-$  único vem do decaimento do múon ou pión, ou do processo de 3 processos de interações do gama na matéria (fotoelétrico, compton e criação de pares).

---

<sup>2</sup> “Reação nuclear natural que ocorre causando a nucleossíntese, que é o processo de criação de novos núcleos atômicos a partir dos núcleos pré-existentes (prótons e nêutrons)” (Bandeira, 2018, p.19).

## Referências

FOGAÇA, F. **Jennifer Rocha**. "Descoberta da Radioatividade"; Mundo da educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/descoberta-radioatividade.htm>. Acesso em: 20 abr.2023.

## ATIVIDADES

1) Quem descobriu a radioatividade?

---

---

2) Quais fenômenos radioativos pode citar?

---

---

3) A radioatividade pode ser prejudicial à saúde? Explique.

---

---

4) Os raios cósmicos são exemplos de qual radiação?

---

---

## Aula 3 -Chuva de raios cósmicos

### Introdução

Nesta aula trabalhamos os conceitos de reações nucleares e decaimento radioativo, dilatação temporal e energia relativística associados ao fenômeno dos raios cósmicos. As aulas foram dialogadas e expositivas, para as quais detalhamos com os alunos de maneira qualitativa, praticamente sem fórmulas, como os múons (raios secundários) são formados. Foi possível trabalhar a equação da reação produzindo o múon e seu decaimento. Também foi ensinado que se não fosse efeitos relativísticos, o múon não chegaria na superfície da Terra, pois seu tempo de vida sofreu dilatação temporal, por se mover a velocidades próximas à da luz. Foi importante levar aos alunos o conceito de múon, pois ele pode ser visto pelo celular

**Duração da aula - 2 horas**

## **Objetivos**

- Ensinar sobre como é formado a chuva de raios cósmicos e sua relação com o conceito de reações nucleares e decaimento radioativo;
- Refletir sobre o papel da dilatação temporal relativística na detecção dos raios cósmicos secundários como o múons;
- Aprender sobre conceitos de interação da radiação com a matéria como a produção de par de partículas e efeito Compton além do conceito de energia relativística.

### **3.3 Energia relativística**

Na mecânica de Newton, a energia cinética de uma partícula de massa  $m$  é dado por  $K=1/2 mv^2$ , onde  $v$  é a velocidade da partícula. Contudo, de acordo com a Teoria da Relatividade Especial de Einstein de 1905, a energia de uma partícula viajando próxima à velocidade da luz, como é o caso das partículas dos raios cósmicos primários, é dada por

$$E = \sqrt{(cp)^2 + (m_0c^2)^2}$$

onde  $c$  é a velocidade da luz,  $p$  é o momento linear ou quantidade de movimento e  $m_0$  é a massa de repouso. Essa energia é a soma da energia cinética com a energia de repouso  $m_0c^2$ . Quando as partículas estão em repouso, isto é, com  $p=0$ , a energia resulta em  $E=m_0c^2$ . Essa energia é que a partícula possui simplesmente por existir. Uma característica importante na relatividade especial é que a massa pode ser convertida em energia e energia em massa. Para os raios gama que não possuem massa de repouso, a energia resulta em

$$E = cp$$

As equações de reação nuclear descritas abaixo são “controladas” por essa relação de energia-momento relativística. Quando o próton ou gama se choca com uma molécula, parte dessa energia é usada para criar as massas de repouso das partículas que aparecem no lado direito da reação, podendo sobrar uma energia o movimento dessas partículas.

As reações nucleares que ocorrem na chuva de raios cósmicos são mostradas abaixo:

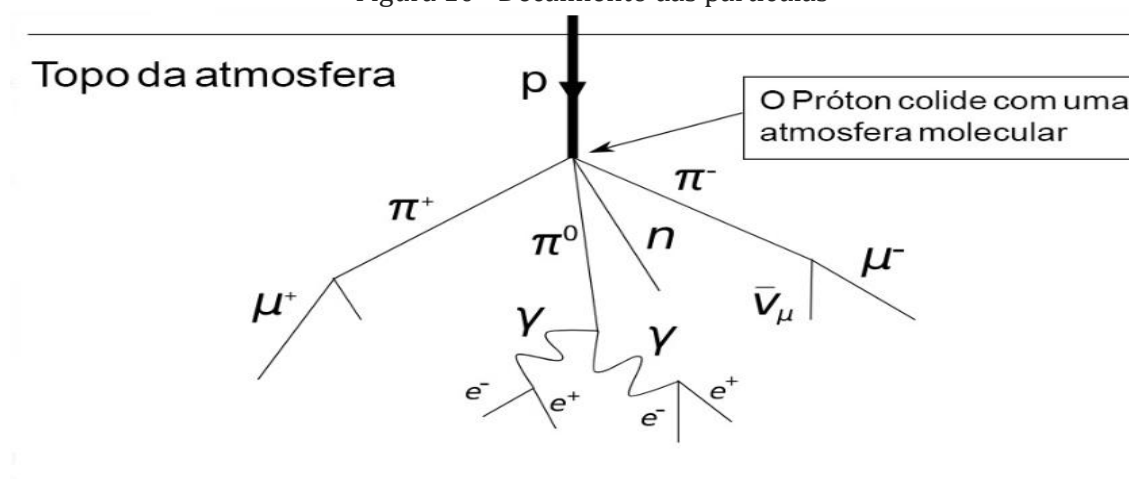
Tabela 4- Os símbolos gregos

| Léptons   | Hádrons  |  |
|---|--|--|
|   | Bárions  | Mésons   |
| Elétron ( $e^-$ )<br>Múon ( $\mu^-$ )<br>Tau ( $\tau$ )<br>Neutrino do elétron ( $\nu_e$ )<br>Neutrino do múon ( $\nu_\mu$ )<br>Neutrino do tau ( $\nu_\tau$ )<br>Pósitron ( $e^+$ )<br>Antimúon ( $\mu^+$ )<br>Antitau ( $\tau^+$ )<br>Antineutrino do elétron ( $\bar{\nu}_e$ )<br>Antineutrino do múon ( $\bar{\nu}_\mu$ )<br>Antineutrino do tau ( $\bar{\nu}_\tau$ ) | Próton ( $p$ )<br>Nêutron ( $n$ )<br>Antipróton ( $\bar{p}$ )<br>Antinêutron ( $\bar{n}$ ) | Píon mais ( $\pi^+$ )<br>Píon menos ( $\pi^-$ )<br>Píon zero ( $\pi^0$ ) |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

- a)  $p$  (raio primário altamente energético) + molécula da atmosfera  $\rightarrow$  píon neutro + píon (+) + píon (-) ou  $p + \text{molécula} \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \pi^-$

Figura 10 - Decaimento das partículas



Fonte: Ifa.ufpa.br/radiacao/aulas.html (2023).

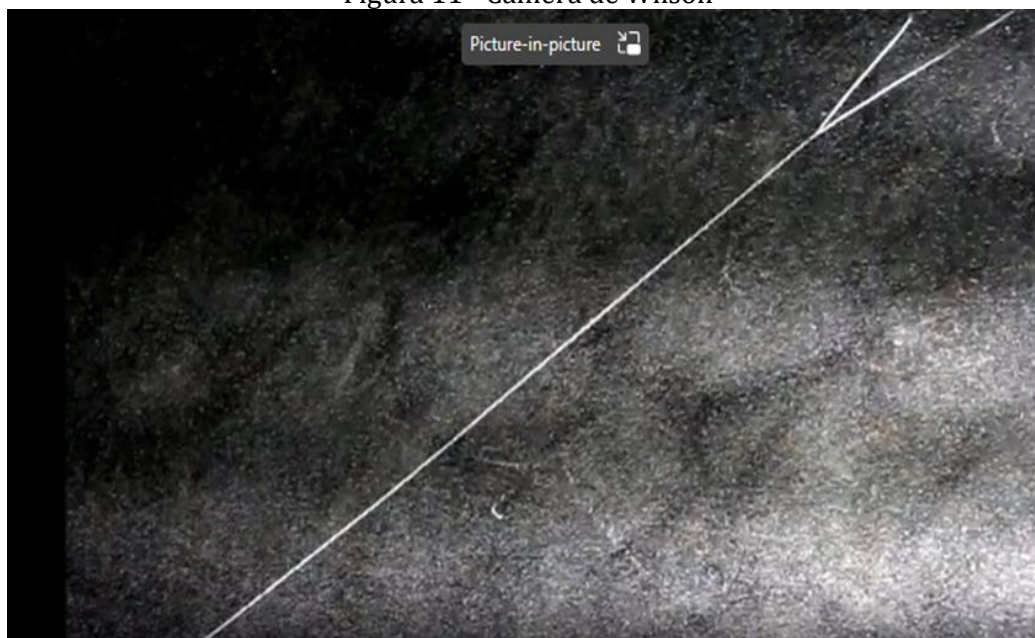
- b) píon (+)  $\rightarrow$  múon (+) + neutrino do múon ou  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$   
 c) píon (-)  $\rightarrow$  múon (-) + antineutrino do múon ou  $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$   
 d) píon (neutro)  $\rightarrow$  gama + gama ou  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$   
 e) gama  $\rightarrow$  elétron + pósitron ou  $\gamma \rightarrow e^- + e^+$  (chuva eletromagnética)

O que acontece quando um próton com 1 TeV (1 trilhão de elétron-volts) de energia atinge a atmosfera a cerca de 20 km acima do solo assistir ao vídeo <http://aires.fisica.unlp.edu.ar/> de Cosmos usando AIRES (AIRshower Extended Simulations). A simulação do chuveiro ocorre em uma caixa de 20 km x 5 km x 5 km. Partículas diferentes recebem cores diferentes, elétrons e pósitrons são verdes, múons



são vermelhos e raios gama são cianos. O conceito de raio cósmico primário (partícula de Hélio) detectado numa câmara de Wilson pode ser visto em <https://ezdubs-vod-api.com/result/Rpp9E-BtUY8> em pt.

Figura 11 - Câmera de Wilson



Fonte: Ezdubs (2023).

O decaimento do pión carregado em múon em uma câmara, que é o mesmo que acontece em uma das partes chuva na atmosfera. O vídeo: <https://ezdubs-vod-api.com/result/wNgGaZjsBUU> em pt. explica o decaimento.

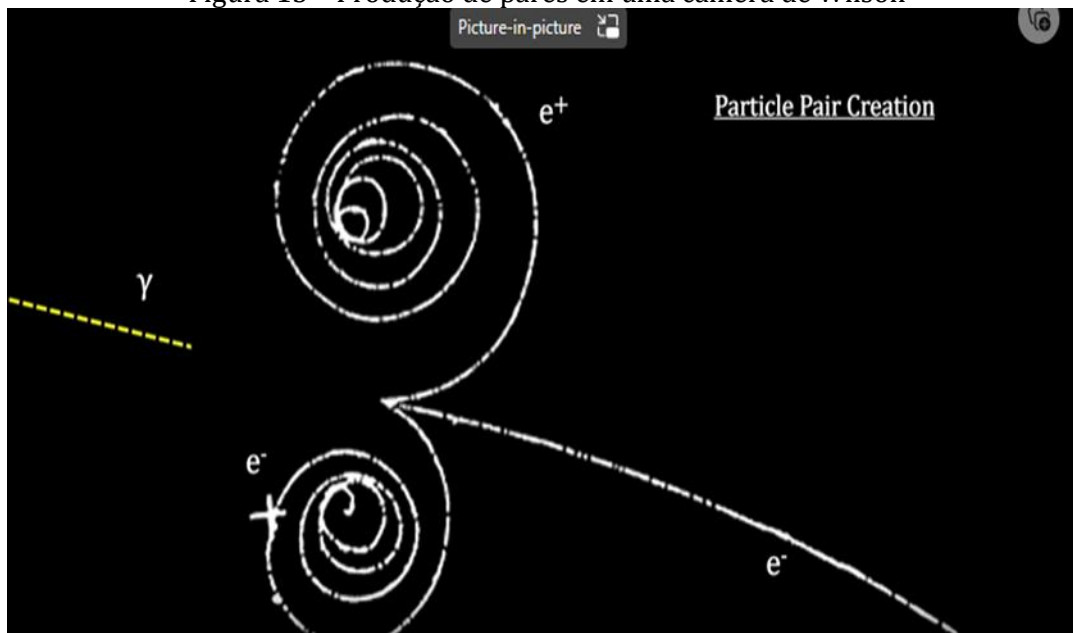
Figura 12-Decaimento do pión



Fonte: Ezdubs (2023).

Também foi explicado aos alunos que a produção de par em uma câmera de Wilson, que é o mesmo que acontece na chuva na atmosfera, como visto no vídeo do link [https://ezdubs-vod-api.com/result/grOAlACupd0\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/grOAlACupd0_en_pt).

Figura 13 – Produção de pares em uma câmera de Wilson



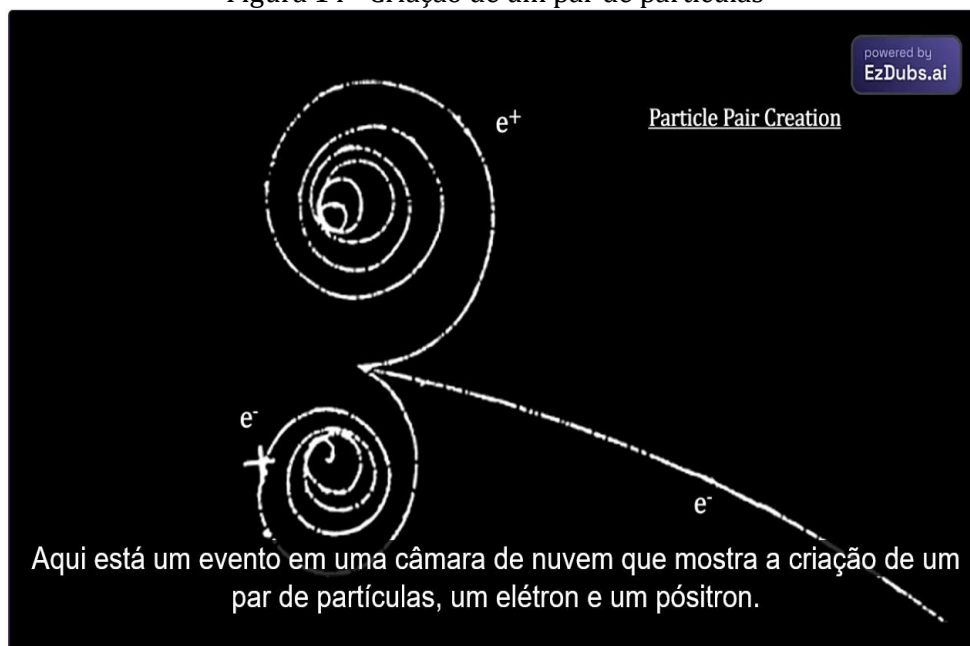
Fonte: Ezdubs (2023).

Os raios cósmicos se desintegrando em raios gama, que acontece em uma das partes da chuva na atmosfera, como observado no vídeo do link [https://ezdubs-vod-api.com/result/grOAlACupd0\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/grOAlACupd0_en_pt). Nesse vídeo é mostrado um evento em uma câmera de nuvem que mostra a criação de um par de partículas, um elétron e pósitron.

Na interação mais simples e comum, um próton de raio cósmico atinge outro próton. Os prótons sobrevivem à colisão, mas sua interação cria uma partícula instável - um píon - com apenas 14% da massa de um próton. Em 10 milionésimos de bilionésimo de segundo, o píon decai em um par de fótons de raios gama. Cenários mais complexos ocorrem quando prótons de raios cósmicos atingem núcleos contendo um número maior de partículas.



Figura 14 - Criação de um par de partículas



Fonte: Ezdubs (2023).

Os raios cósmicos que chegam até a Terra podem ser provenientes de explosões de raios gama em uma supernova. Foi passado o vídeo através do link <https://ezdubs-vod-api.com/result/oHEpiv33fZQ> en pt.

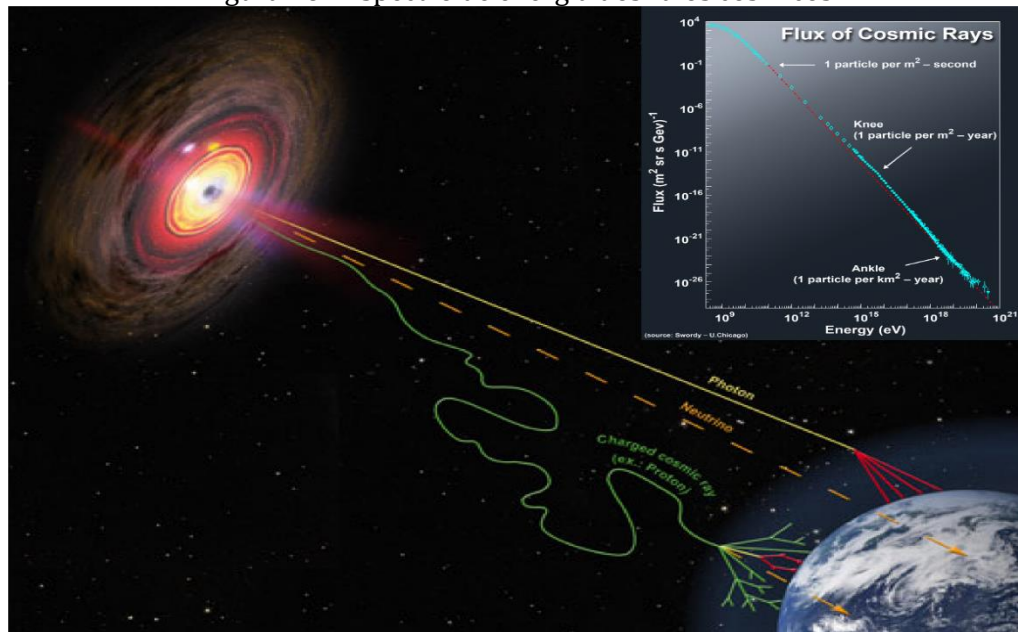
Figura 15 - Colisões dos raios com a Terra



Fonte: Ezdubs (2023).

Décadas de medições ajudaram a construir o espectro de energia dos raios cósmicos observados da Terra. É um dos gráficos mais famosos da física moderna, exibindo uma notável lei de potência em energia em várias ordens de magnitude. A figura 16 mostra o espectro de energia de raios cósmicos observado da Terra.

Figura 16 - Espectro de energia dos raios cósmicos



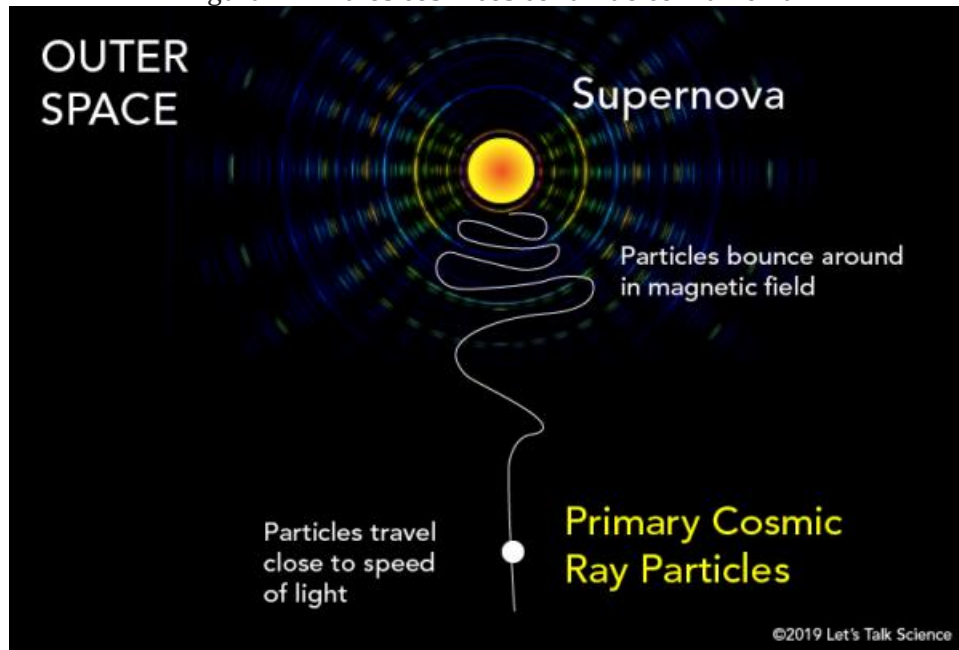
Fonte: Google (2023).

Esta lei de potência tem uma quebra de energia em alguns peta-elétronvolts (PeV,  $10^{15}$  eV), que é apontado no gráfico como um pequeno “joelho”. Abaixo do joelho, acredita-se que os raios cósmicos sejam de origem galáctica, mas as fontes onde são produzidos ainda são desconhecidas. Fontes capazes de acelerar partículas até pelo menos energias PeV são chamadas de PeVatrons, e os astrônomos estão ativamente em busca desses aceleradores extremos dentro de nossa Galáxia. Vários argumentos fortes sugerem que a onda de choque rápida nos restos de estrelas em explosão (Remanescentes de Supernova; SNRs) pode ser o local de aceleração dos raios cósmicos e, portanto, dos PeVatrons também.

Até o momento, uma emissão detectada pelo Hypersonic Air-breathing Weapon Concept (HAWC) associada ao SNR G106.3+2.7 sugere aceleração de prótons de raios cósmicos até PeV, mas outros cenários relacionados à aceleração de elétrons não podem ser descartados [1]. Portanto, os SNRs ainda não foram estabelecidos como um PeVatron galáctico, deixando essa hipótese ainda em aberta.

A figura 17 mostra como o raio cósmico tipo partícula e tipo raios gama chegam na Terra. O raio primário tipo partícula espirala nas linhas do campo magnético da Terra antes de chegar na atmosfera.

Figura 17 - Raios cósmicos colidindo com a Terra



Fonte: Google (2023).

Na chuva de raios cósmicos, são produzidos os chamados raios cósmicos primários, que consistem em múons que chegam na superfície terrestre e podem ser detectados. A vida média do múon  $\tau$  ou o tempo para o seu decaimento, isto é, sua transformação em outra partícula, está relacionado com sua meia-vida por

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$$

onde  $T_{1/2}$  é a meia-vida da partícula. A meia-vida é um conceito usado em Física Nuclear, correspondendo ao tempo necessário para que metade das partículas radioativas se desintegrem.

### 3.3.1 Dilatação temporal relativística

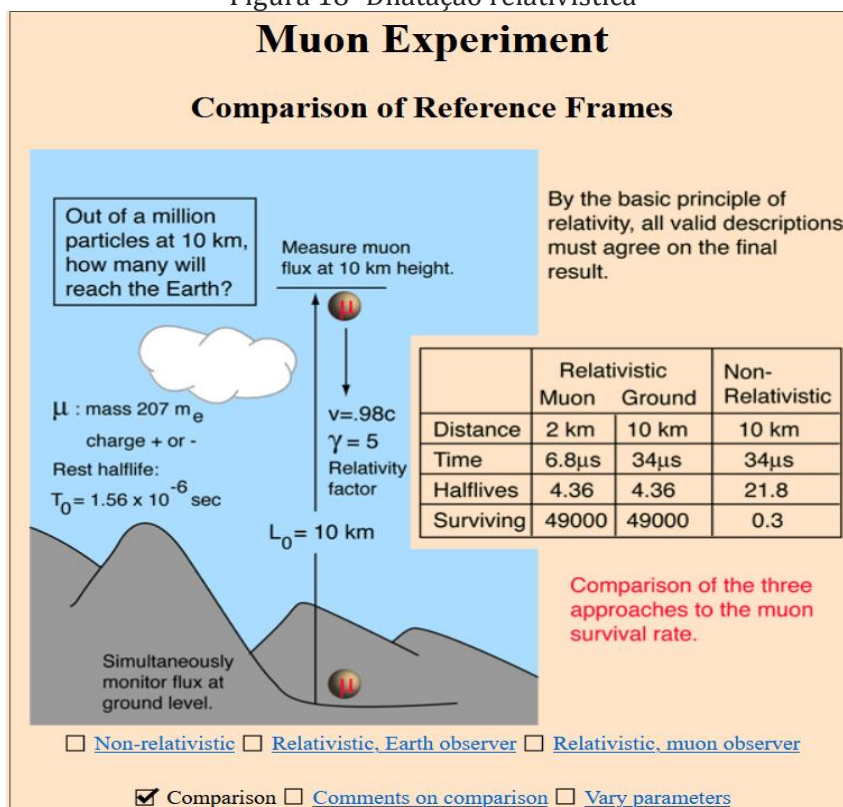
Para as partículas que viajam próximas à velocidade da luz, o intervalo de tempo medido é relativo e depende do estado de movimento do observador. Quando esse intervalo é medido por um observador em repouso em relação à partícula, ele é denominado de tempo próprio  $\Delta t_0$ . Para um outro observador em movimento com velocidade constante em relação à partícula, esse intervalo de tempo medido  $\Delta t$  é diferente de  $\Delta t_0$ . O intervalo de tempo medido por um observador na Terra é diferente de um intervalo de tempo medido por um observador hipotético viajando com a partícula muônica. Esse tempo medido por um observador na Terra é maior do que o medido pelo

observador junto à partícula e esse fenômeno é chamado de dilatação temporal. O tempo medido pelo observador junto à partícula é menor do que o medido pelo observador na Terra, pois a partícula se encontra em movimento com velocidade relativística. A relação entre os dois intervalos de tempos é dada pela Teoria Especial da Relatividade:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Para explicar a vida média do múon e distância viajada por ele, precisamos usar a equação dilatação temporal aplicada ao ponto de vista do múon e de um observador na Terra. Sem essa dilatação do tempo, o múon não chegaria na superfície. A medição do fluxo de múons na superfície da Terra produz um dilema inicial porque muitos mais são detectados do que seria esperado, com base em sua curta meia-vida de 1,56 microssegundos. Este é um bom exemplo da aplicação da dilatação relativística do tempo para explicar o aumento do alcance das partículas para partículas de alta velocidade, como ilustrado no vídeo do link: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Relativ/muon.html>.

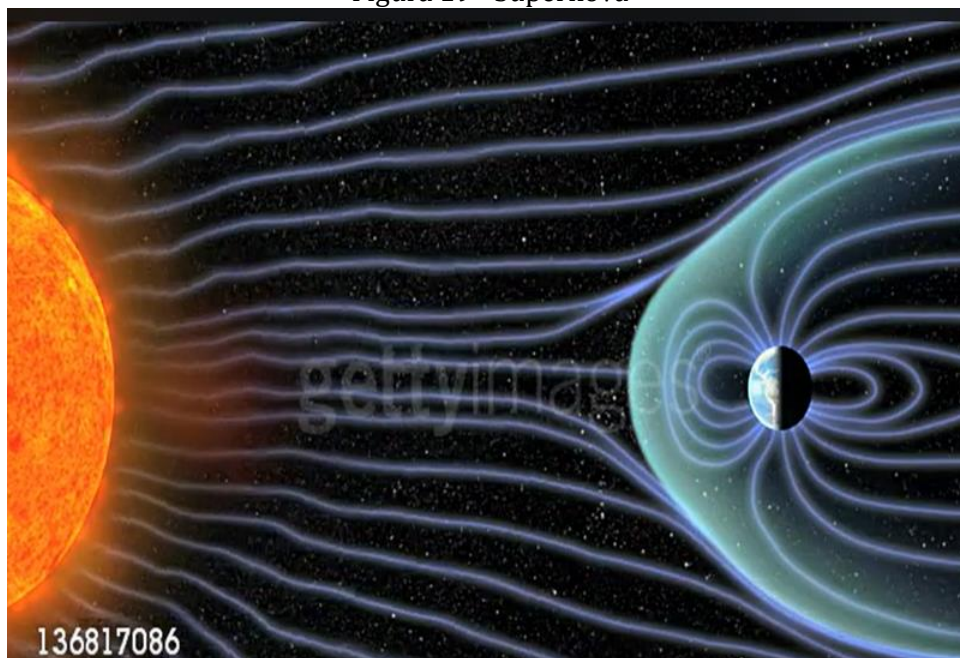
Figura 18- Dilatação relativística



Fonte: Google (2023).

Por fim, foi mostrado o vídeo encontrado no link <https://www.youtube.com/watch?v=HLeK01ZfMHM>, que demonstra que em algum lugar em uma galáxia distante, uma enorme estrela moribunda entra em colapso e uma estrela de nêutrons é produzida após uma explosão da estrela em um fenômeno chamado de Supernova. Um buraco negro pode ser formado no lugar da estrela de nêutrons.

Figura 19 - Supernova



Fonte: Google (2023).

## Referências

FOGAÇA, F. **Jennifer Rocha**. "Descoberta da Radioatividade"; Mundo da educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/descoberta-radioatividade.htm>.

## ATIVIDADE 3

1) Qual a origem dos raios cósmicos e quais tipos podem atingir a Terra?

---

---

2) Como o múon consegue chegar à Terra se o seu tempo de vida é muito curto para tal?

---

---

3) As energias de repouso das partículas píons são suficientes para criar um múon e neutrino?

---

---

4) O observador em solo que detecta o múon, mede um tempo de vida mais longo para ele, e assim, o múon “dura mais na viagem” até o solo? Sim ou não?

---

---

## **Aula 4- Raios cósmicos e o sol**

### **Introdução**

Nesta aula foram trabalhados os conceitos sobre raios cósmicos solares.

**Duração da aula - 2 horas**

### **Objetivos**

.

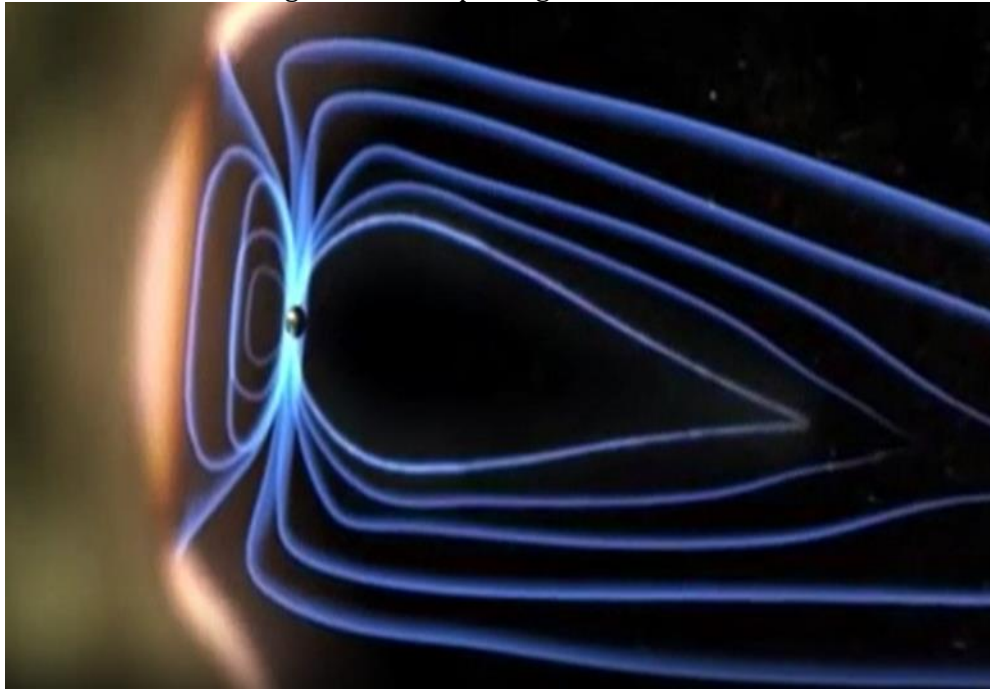
- Ensinar sobre a relação entre o Sol e o vento solar, ciclo e atividade solar, e raios cósmicos solares.

### **3.4 Campo magnético da Terra**

O campo magnético da Terra atua como escudo contra os raios cósmicos vindos do Sol através do plasma ejetado. Através do link: [https://ezdubs-vod-api.com/result/URN-XyZD2vQ\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/URN-XyZD2vQ_en_pt), poderá perceber a atuação dele em nosso planeta.



Figura 20 - Campo magnético da Terra



Fonte: Ezdubs (2023).

## Referências

MATSUOKA, Marcelo Tomio; CAMARGO, Paulo de Oliveira; DAL POZ, William Rodrigo. Declínio do número de manchas solares do ciclo solar 23: redução da atividade ionosférica e melhora da performance do posicionamento com GPS. **Bulletin of Geodetic Sciences**, v. 10, n. 2, 2004. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/bcg/article/download/1530/128>. Acesso em: 15 abr. 2023.

## ATIVIDADE 4

1) O que é campo magnético?

---

---

2) Qual a composição da radiação solar?

---

---

3) Descreva a heliosfera?

---

---

4) O que são raios cósmicos solares e qual a diferença entre eles e a luz comum que chega do Sol até a Terra?

---

---

## **Aula 5 -Propagação de raios cósmicos na magnetosfera e atmosfera da terra**

### **Introdução**

Nesta aula foi trabalhado os conceitos da magnetosfera da Terra e interações de raios cósmicos na atmosfera da Terra.

**Duração da aula - 2 horas**

### **Objetivos**

- Introduzir o conceito de força magnética
- Ensinar o conceito de magnetosfera da Terra;
- Avaliar as interações de raios cósmicos com o campo magnético da Terra.

### **3.5 Magnetosfera da Terra**

Uma partícula carregada com uma carga  $q$  e se movimentando com uma velocidade  $v$  em um campo magnético sofre uma força, chamada de força magnética dada por:

$$F = qvB\sin\theta$$

onde  $\theta$  é o ângulo entre a direção da velocidade e a direção do campo magnético presente em um certo espaço. Esse campo magnético pode ser produzido por materiais ferromagnéticos como os ímãs e pelo próprio planeta Terra. As linhas do campo magnético da Terra no espaço formam a estrutura chamada de magnetosfera e de certa forma são semelhantes ao campo magnético formado pelos ímãs. Essas linhas de campo magnético formam o chamado campo de forças magnético pois uma partícula carregada ao se movimentar nesse campo, como os raios cósmicos primários, sentem a ação de uma força magnética alternando sua trajetória inicial.



Figura 21 - A magnetosfera como um campo de força magnética



Fonte: Ezdubs (2023).

## Referências

OLIVEIRA, A. G.; ROCKENBACH, M.; PACINI, A. A. Raios cósmicos e a heliosfera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, p. 1-13, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Ft8PPrY67CfntKYBHYQXtsK/>. Acesso em: 15 abr. 2023.

## ATIVIDADE 5

1) Onde se localiza a magnetosfera?

---

---

2) Explique por que a magnetosfera pode ser entendida como um campo de força magnética?

---

---

3) O que nos protege da radiação cósmica?

---

---

## **Aula 6- Chuveiros cósmicos e a radiação Cherenkov**

### **Introdução**

Nesta aula foi trabalhado o fenômeno de propagação dos chuveiros cósmicos e a formação da radiação Cherenkov.

**Duração da aula - 2 horas**

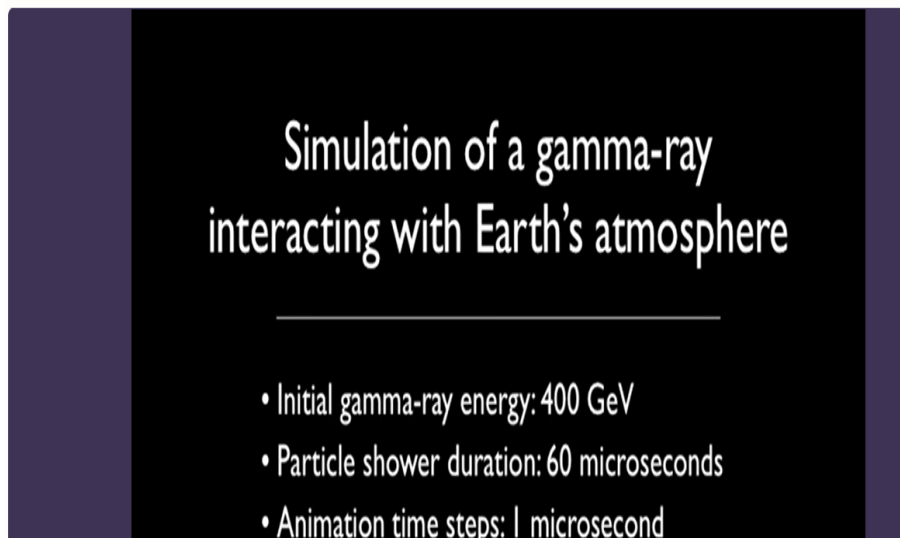
### **Objetivos**

- Explicar o conceito de radiação Cherenkov associado à formação de chuvas de raios cósmicos na atmosfera.
- Explicar que os raios cósmicos podem estar ligados à origem da vida, mas podem ser prejudiciais aos seres vivos.

### **3.6 Chuveiros cósmicos e a radiação Cherenkov**

A chuva de raios só acontece quando a partícula primária é extraordinariamente energética (que é um evento raro). Quando isso acontece, seja a partícula primária um próton ou gama, é possível detectar no fenômeno, uma luz azulada, conhecida como radiação Cherenkov. Essa luz surge quando as partículas produzidas na chuva no ar viajam mais rápido do que a velocidade da luz no ar. A velocidade da luz no ar é menor do que a velocidade no vácuo, mas as partículas secundárias produzidas são tão energéticas que ultrapassam a velocidade da luz no ar. Como visto no vídeo: [https://ezdubs-vod-api.com/result/BItsAapGch0 en pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/BItsAapGch0_en_pt)

Figura 22 - Formação das partículas secundárias



Fonte: Ezdubs (2023).

Abaixo mostra a detecção da *luz Cherenkov*.

Figura 23 - Detecção da luz Cherenkov



Fonte: Ezdubs (2023).

Uma simulação dessa radiação pôde ser vista no vídeo do *link* <https://www.youtube.com/watch?v=G5zD1BCScb8&t=6s>.

O fenômeno da chuva de raios cósmicos, como são produzidos e como podem ser detectados, para tal terá a simulação do experimento *Pierre Auger Observatory* para detectar a chuva, que pode ser visto no vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=ySIAjwhCWYU>

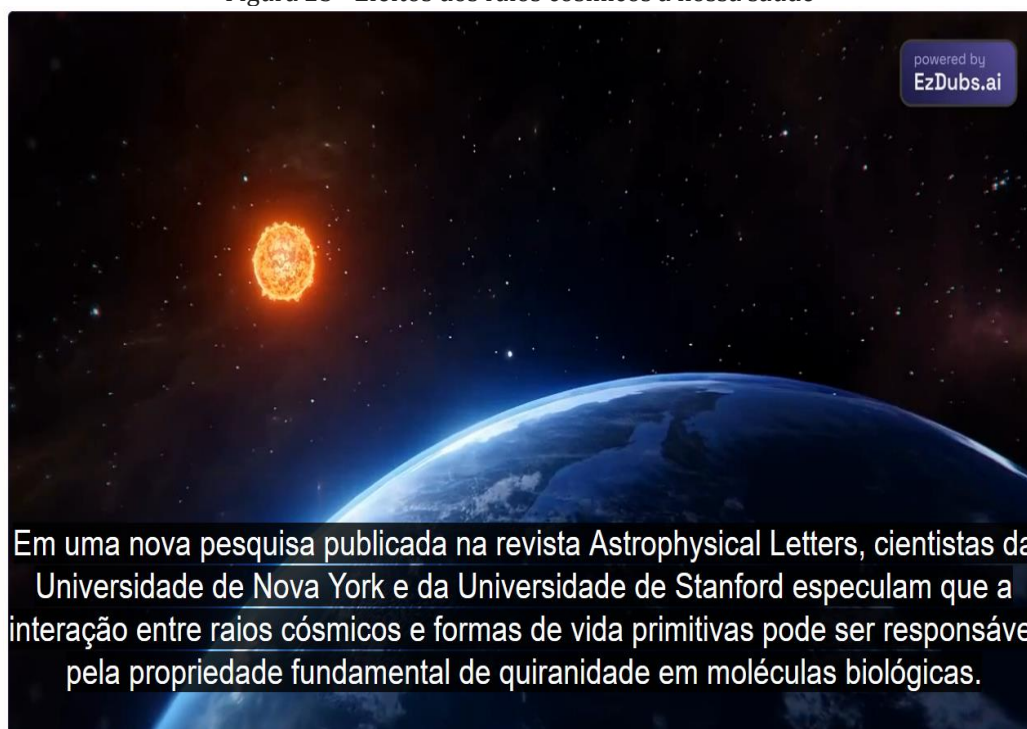
Figura 24 - Fenômeno da chuva de raios cósmicos



Fonte: Ezdubs (2023).

Foi explicado aos alunos que os raios cósmicos podem ser altamente prejudiciais à saúde, será mostrado o seguinte vídeo: [https://ezdubs-vod-api.com/result/tWxODmKooiE\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/tWxODmKooiE_en_pt). Ressalta-se que essa chuva de raios é perigosa e pode danificar o DNA e discutiremos os possíveis efeitos biológico dos raios.

Figura 25 - Efeitos dos raios cósmicos a nossa saúde



Fonte: Ezdubs (2023).

## **Referências**

OLIVEIRA, A. G.; ROCKENBACH, M.; PACINI, A. A. Raios cósmicos e a heliosfera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, p. 1-13, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Ft8PPrY67CfmtKYBHYQXtsK/>. Acesso em: 15 abr.2023.

## **ATIVIDADE 6**

1) O que é radiação Cherenkov?

---

---

2) É preciso de muita energia dos raios primários para a produção da radiação Cherenkov? Explique sua resposta.

---

---

3) Que tipo de experimento já foi elaborado para a detecção dessa radiação que é produzida junto com os raios cósmicos?

---

---

4) Por que os raios cósmicos podem ser prejudiciais para a saúde?

---

---

## **Aula 7- Apresentação do aplicativo e detecção dos raios cósmicos usando um celular**

### **Introdução**

Nesta aula os alunos foram orientados a baixar o aplicativo CREDO no telefone celular, com o intuito de detectar algumas partículas dos raios cósmicos por meio da câmera do celular.

**Duração da aula - 2 horas**

### **Objetivo**

- Entender o funcionamento do aplicativo CREDO e aprender a fazer a instalação do mesmo no celular, bem como aprender a fazer o cadastro no site do projeto.

### **3.7 O aplicativo CREDO**

O aplicativo CREDO no telefone celular foi apresentado com o intuito de detectar algumas partículas dos raios cósmicos por meio da câmera do celular. Foi usada a versão

1.1 do aplicativo, que tem o tamanho de 9.5MB, compatível com o sistema operacional Android. A ideia de produzir o App surgiu no Institute of Nuclear Physics of the Polish Academy of Sciences (IFJ PAN). O CREDO pode ser baixado na loja de aplicativos “PlayStore” do Google ou na loja da Apple que usa o sistema IOS.

As câmeras do celular trabalham usando o efeito fotoelétrico e Compton para detectar as partículas carregadas como múons, elétrons ou fótons incidentes. Quando uma partícula carregada ou fóton atinge o sensor CMOS/CCD em uma câmera, é produzido um sinal elétrico. Esse sinal é então registrado como uma assinatura de pixel, que é processada para produzir uma imagem. Se mais de um único pixel for atingido, uma parte do rastro da partícula pode ser detectada. Se você colocar fita adesiva sobre a lente da câmera, a luz normal ambiente é impedida de atingir o sensor, mas os fótons da radiação gama (radiação ambiental) e múons (presentes nos raios), conseguem penetrar na fita e atingir o sensor. O mesmo ocorre para as partículas beta (elétrons) de alta energia da radiação ambiental.

Assim, quaisquer múons que chegam passam direto pela fita adesiva e interagem com o sensor da câmera, deixando uma assinatura de pixel para trás que é registrada como uma simples foto pelo aplicativo e armazenada no celular e depois enviada para os servidores do projeto CREDO para análise e classificação como uma possível partícula pertencente a uma chuva de raios cósmicos. No caso dos múons, o traço se assemelha a uma fina linha reta, que o aplicativo registra. Um rastro pixelado sinuoso aparece devido a colisão de fótons gama de substâncias radioativas presentes na radiação ambiental com o sensor CMOS. A colisão produz uma cascata de elétrons ionizados produzindo o rastro curvo.

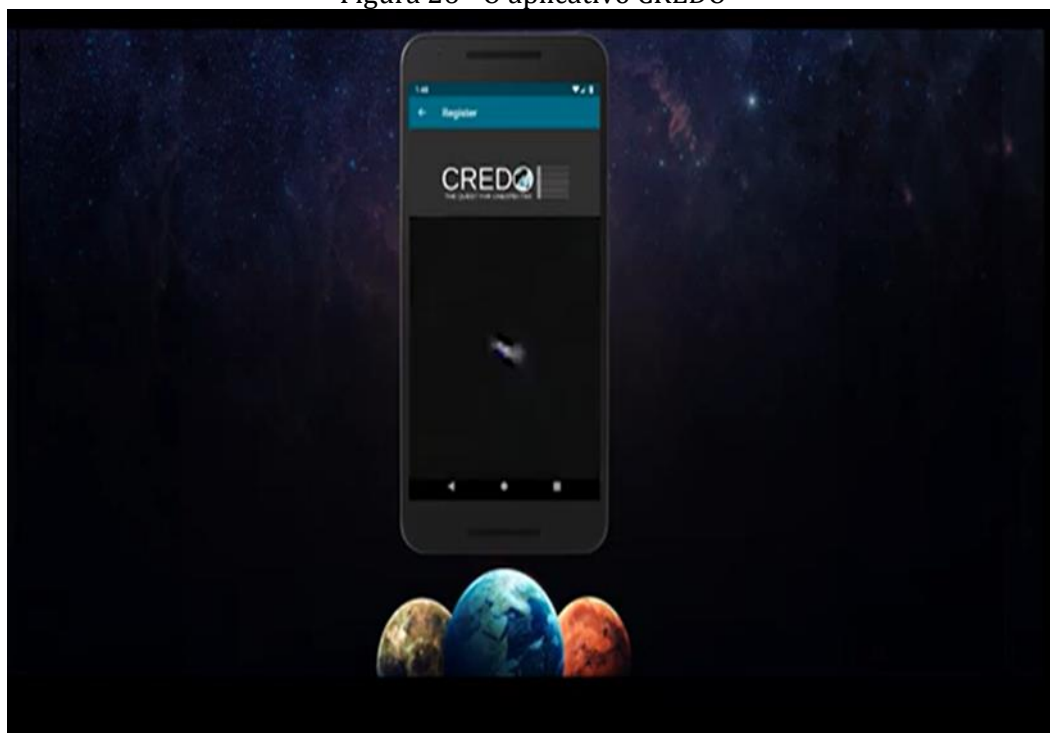
O aplicativo usa a câmera do *smartphone* (enquanto o telefone está carregando e a câmera está coberta) para procurar os pixels brilhantes causados pelo impacto de uma partícula de alta energia no detector da câmera. Uma pequena 'miniatura' centrada nesta detecção, juntamente com a hora e a data em que ocorreu e onde seu smartphone estava, é enviada para os servidores do CREDO. Abaixo segue um pequeno tutorial sobre o aplicativo que pode ser assistido no link [https://ezdubs-vod-api.com/result/4riZZANp1X4\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/4riZZANp1X4_en_pt).

O conjunto de dados CREDO (interface figura 25) é dividido em três categorias básicas dentro de seus servidores:



- Detecções - um conjunto de detecções contendo informações detalhadas sobre eventos individuais em todos os dispositivos;
- Pings - registos de atividade dos dispositivos, incluindo a informação sobre as respetivas ligações à base de dados e tempo de trabalho em modo de detecção;
- Mapeamentos - três coleções contendo informações sobre usuários, dispositivos e equipes.

Figura 26 - O aplicativo CREDO



Fonte: Ezdubs (2023).

A maior parte dos dados coletados pelo CREDO até o momento vem de *smartphones* com o aplicativo CREDO Detector, operando no sistema Android. As estatísticas de dados desde a estreia do aplicativo até 1º de setembro de 2020 incluem:

- 11.150 usuários (contas únicas) se registraram
- 15.739 dispositivos foram usados para detecção de partículas
- 4.941.133 detecções de candidatos registradas
- o tempo total de operação dos dispositivos é superior a 379.629 dias (mais de 1.039 anos)

Os arquivos de dados brutos ocupam atualmente 44 GB (detecções: 39,3 GB; pings: 1,6 GB; mapeamentos: 3,1 GB). Supondo que o único sensor de câmera CMOS tenha uma



diagonal de tamanho de 1/3 (em média), a área total de todos os dispositivos atualmente registrados é de 0,56 m<sup>2</sup>.

O valor médio diário de detecções por dispositivo calculado a partir do número de detecções de candidatos registradas e o número de tempo total de operação dos dispositivos é de cerca de 13 detecções de candidatos registradas diariamente.

Muitas vezes acontece que uma única foto tirada por um *smartphone* no modo de detecção contém mais de um pixel que atende às condições de disparo e pode ser classificado como detecções. Se esses *pixels* estiverem localizados suficientemente distantes um do outro, elas são consideradas detecções separadas e cada uma delas recebe um registro de detecção individual. Um exemplo de rastreamento de partículas coletados pelo CREDO detector no celular é apresentado abaixo:

Figura 27 - Raios captados pelo CREDO



Fonte: Google (2023).

## Referências

CREDO. Disponível em: <https://credo.science/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

PROJETO CREDO. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Tracks-of-particles-detected-by-the-CREDO-Detector-application\\_fig3\\_344400335](https://www.researchgate.net/figure/Tracks-of-particles-detected-by-the-CREDO-Detector-application_fig3_344400335). Acesso em: 20 maio 2023.

## ATIVIDADE 7

A proposta dessa atividade previu que os alunos baixassem o aplicativo CREDO e navegassem na interface para conhecer a usabilidade. No *link* seguinte instrui passo a passo como baixar o aplicativo <https://ciencia-cidada.blogspot.com/p/blog-page.html> e uma orientação detalhada dos procedimentos necessários para baixarem o aplicativo CREDO e o passo a passo que deverão seguir para capturar os raios cósmicos.

O aparelho celular deve estar devidamente carregando para iniciar a captura dos raios, assim evitará que a bateria do aparelho vicie. A câmera frontal e traseira do celular deve estar coberta por um pano preto para evitar qualquer incidência/penetração de luz. Também é ideal colocar o aparelho em uma gaveta e fechá-la para assegurar uma eficácia maior na captação. Com esses ajustes devidamente feitos, basta acessar o aplicativo e iniciar a captura dos raios.

Figura 28- Instalação do aplicativo CREDO



Fonte: Credo (2023).

## **Aula 8- Realizar um experimento em sala de aula e identificar as partículas detectadas**

### **Introdução**

Nesta aula os alunos fizeram o experimento para detectar o maior número possível de partículas em um prazo estabelecido pelo professor. As detecções foram propostas de modo individual ou em grupo. O professor estabeleceu uma competição entre os grupos para checar qual grupo conseguiu detectar mais raios cósmicos. Os alunos também procuraram identificar as partículas e classificá-las como elétrons, múons e raios gama. Ao final, os alunos construíram uma tabela constando o número de partículas *versus* tipo de partícula e anexaram uma foto para cada tipo de partícula.

**Duração da aula - 2 horas**

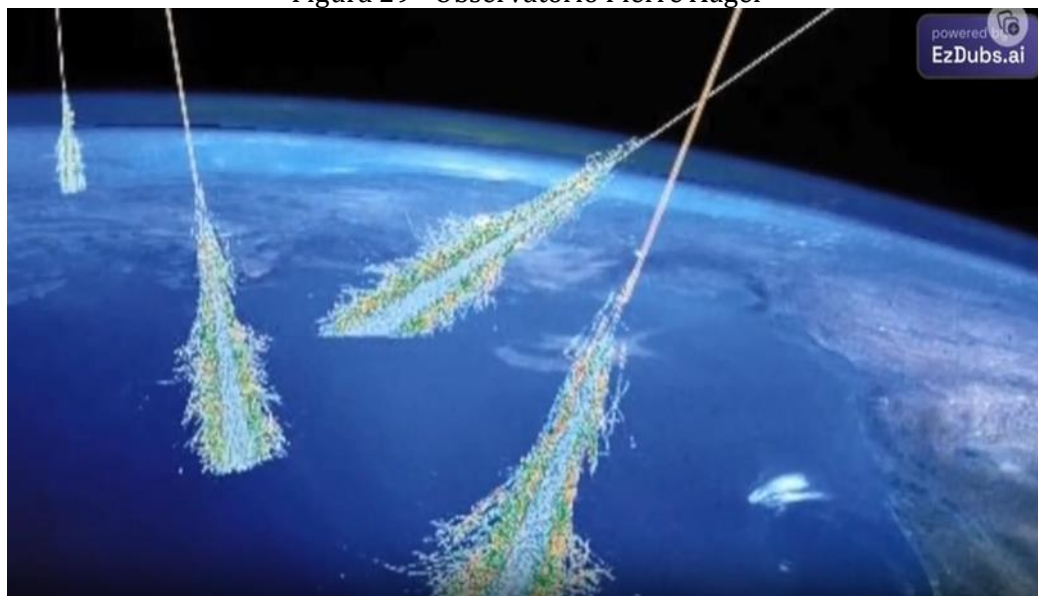
### **Objetivos**

- Orientar os alunos para realizarem experimentações com o uso do aplicativo CREDO no celular para detecção e classificação das partículas encontradas.
- Construir uma tabela por grupo de alunos com o número de partículas *versus* tipo de partículas com imagens capturadas pela câmera para cada tipo de partícula.

### **3.8 Identificação das partículas**

A principal característica visível do Observatório Pierre Auger são os 1.660 tanques detectores de superfície de água que cobrem cerca de 3.000 km<sup>2</sup> do Pampa Amarília, oeste argentino ocupando uma área cerca de 30 vezes o tamanho de Paris. A simulação está no link: [https://ezdubs-vod-api.com/result/ldDEFKZ100\\_en\\_pt](https://ezdubs-vod-api.com/result/ldDEFKZ100_en_pt).

Figura 29 - Observatório Pierre Auger



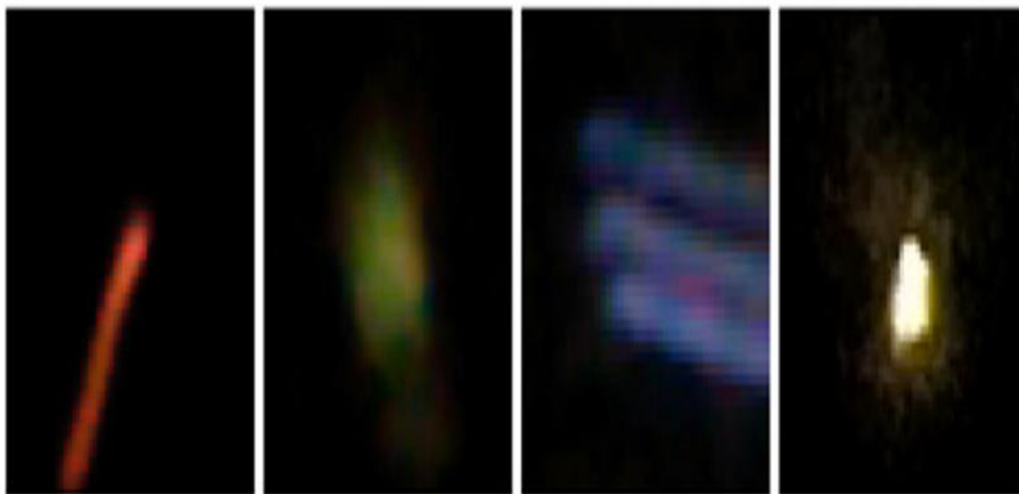
Fonte: Ezdubs (2023).

Muitas imagens podem ser capturadas pela câmera, mas apenas uma pequena fração das amostras são candidatas, e uma fração delas é classificada como eventos e enviadas para os servidores do projeto CREDO. As imagens capturadas ficam disponíveis também no aplicativo. É necessário executar o aplicativo por cerca de 24 horas para obter alguns eventos embora não esteja descartado a possibilidade de os eventos serem capturados no tempo da sala de aula.

A natureza das medições de radiação penetrante feitas pelos sensores CMOS pressupõe a identificação de pixels que são significativamente mais brilhantes que o fundo. Os algoritmos atualmente utilizados permitem tal identificação apenas quando a luz visível não atinge o sensor, ou seja, com a câmera do smartphone bem tampada.

A descoberta intencional ou não intencional da câmera do *smartphone* pode resultar na coleta de imagens geradas pela luz visível, às vezes dificilmente distinguíveis dos excessos de sinal induzidos pela penetração dos raios cósmicos. Abaixo, segue exemplos de imagens gravadas com um smartphone usando o aplicativo móvel CREDO. Nas imagens da figura 29, temos um múon, depois um elétron, depois um elétron seguido de uma imagem mostrando colisões múltiplas do elétron e finalmente um fóton gama.

Figura 30 - Classificação dos raios cósmicos



Fonte: Google (2023).

## Referências

CREDO. Disponível em: <https://credo.science/>. Acessado em 22 de março de 2023.

PROJETO CREDO. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Example-particle-candidate-tracks-recorded-with-a-smartphone-using-the-CREDO-Detector\\_fig16\\_345717920](https://www.researchgate.net/figure/Example-particle-candidate-tracks-recorded-with-a-smartphone-using-the-CREDO-Detector_fig16_345717920). Acesso em: 10 jun.2023.

## ATIVIDADE 8

Primeiramente os alunos baixaram o aplicativo CREDO em seus celulares com o sistema Android. A seguir, cada aluno e o grupo se cadastrou no *site* do projeto. Após essa etapa, eles puderam prosseguir com o experimento.

Depois do aplicativo instalado, os alunos cobriram a câmera do celular com uma fita de cor preta para impedir qualquer entrada de luz ambiente na câmera. Com o aplicativo aberto, eles fizeram o login e foram para a página principal do aplicativo onde acionaram o botão *start* para que o aplicativo começasse a fotografar uma vez a cada 5 segundos. A seguir, o celular foi guardado em uma gaveta na casa dos estudantes pertencentes ao grupo, com a câmera voltada para baixo e com o celular carregando para evitar que o dispositivo fique sem energia, pois as fotografias sequenciais gastam muita energia do aparelho.

Caso o experimento for realizado na sala de aula, devido ao pouco tempo, o celular pode ou não ficar carregando, mas depende da carga que o aparelho tinha quando começou o processo. Na sala, recomenda-se, se possível, deixar o celular dentro da mochila. Devido ao fato que o celular poder ficar dias neste processo, recomenda-se que seja usado um celular velho ou sem uso frequente pelos estudantes. Os estudantes, primeiramente individualmente, realizaram o experimento, com o aparelho tirando as fotos continuamente por pelo menos 03 dias seguidos, para que se obtenha um número mais significativo de eventos.

Ao final do processo, foi pedido que fizessem um *print* das imagens e que estas fossem encaminhadas para o professor por *e-mail*. O professor buscou identificar as partículas fotografadas juntamente com os alunos e fez perguntas como: Quantos múons, elétrons e fótons de raios gama foram identificadas nos prints enviados pelos alunos.

Em um segundo momento, para as tarefas ficarem mais lúdicas, os alunos se dividiram em quatro grupos, com cinco integrantes e foi dado o prazo de 1 semana para a realização do experimento com o desafio para saber qual grupo conseguirá mais prints de raios cósmicos nesse prazo. O grupo que conseguiu mais *prints* com os raios detectados foi a equipe vencedora. Os grupos apresentaram uma tabela com número total de raios cósmicos detectados, com suas imagens anexadas. O grupo também procurou classificar as partículas detectadas conforme sejam múons, elétrons ou fótons de raios gama.



### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo apresentado nosso produto educacional temos algumas diligências a fazer. Embora a captação de raios cósmicos usando o aplicativo CREDO não seja um ambiente conhecido dos discentes, a priori, o aplicativo é uma plataforma colaborativa, os alunos podem interagir com o conteúdo através de algumas funcionalidades do aplicativo.

A geração de hoje está muito inserida nos meios digitais; assim, foi preciso que explicar detalhadamente o funcionamento do aplicativo, desde instalação e uso correto do aparelho para realizarem as captações corretamente.

A nosso ver, na turma em que já foi implementado, a captação dos raios cósmicos, onde fiz a hospedagem de todo os conteúdos trabalhados em um site responsivo e a metodologia dos momentos pedagógicos, formaram um conjunto coeso que cumpriu a missão de mediar e facilitar os processos de ensino e aprendizagem dos discentes.

Esperamos ter dado uma pequena contribuição ao ensino de física e que discentes e docentes do ensino médio possam usufruir desse material como apoio nas aulas sobre a física dos raios cósmicos.





## REFERÊNCIAS

CIÊNCIA CIDADÃ. **Uso do aplicativo Credo**, 2019 Disponível em: <https://ciencia-cidada.blogspot.com/2019/12/credo-observatorio-de-raios-cosmicos.html>. Acesso em: 24 set. 2022.

CREDO. **CREDO science**. Disponível em: <https://credo.science/> Acesso em: 24 set. 2022.

ECHER, E.W. D.; GONZALEZ, F. L.; GUARNIERI, A; DAL LAGO, L. E. A. V. Introduction to Space Weather. **Advances in Space Research**, Volume 35, Issue 5, p. 855-865, 2005.

DAGLIS, I. A., **Cosmic Rays**, chapter 13, p.369-400, Athens, May 2001.

DELIZOICOV, D. & ANGOTTI, J. A. & PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez. 2002.

DELIZOICOV, D. & ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17ª Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 1987.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 2005.

FREITAS, K. M. **Objetos digitais de aprendizagem na prática pedagógica de história: concepções de professores por meio da construção da teoria fundamentada**. Disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/82235>. Acesso em: 07 set. 2023.

HOMOLA, Piotr, et al. "Cosmic-ray extremely distributed observatory." **Symmetry** 12.11. 2020.

KIRK, D. Doune MacDonald, and O. Mary, eds. **Handbook of physical education**. Sage, 2006.

MADEIRA, M. de M. **Potencialidades dos aplicativos de celulares para o ensino de ciências: caminhos trilhados na Escola Básica Municipal Maria Aparecida Nunes-São Joaquim/SC**. 2016.

MERCADO, L. P. L.; SILVA, A. M.; GRACINDO, H. B. **Utilização didática de objetos digitais de aprendizagem na educação on-line**. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/715/71510106.pdf>. Acesso em: 07 set. 2023.





MOREIRA, M. A. **Grandes desafios para o ensino da física na educação Contemporânea**. Ciclo de palestras dos 50 Anos do Instituto de Física da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 2014. Disponível em: [http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas\\_seminarios/seminarios/2014\\_Moreira\\_DesafiosEnsinoFisica.pdf](http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas_seminarios/seminarios/2014_Moreira_DesafiosEnsinoFisica.pdf) Acesso em: 4 jan. 2023.

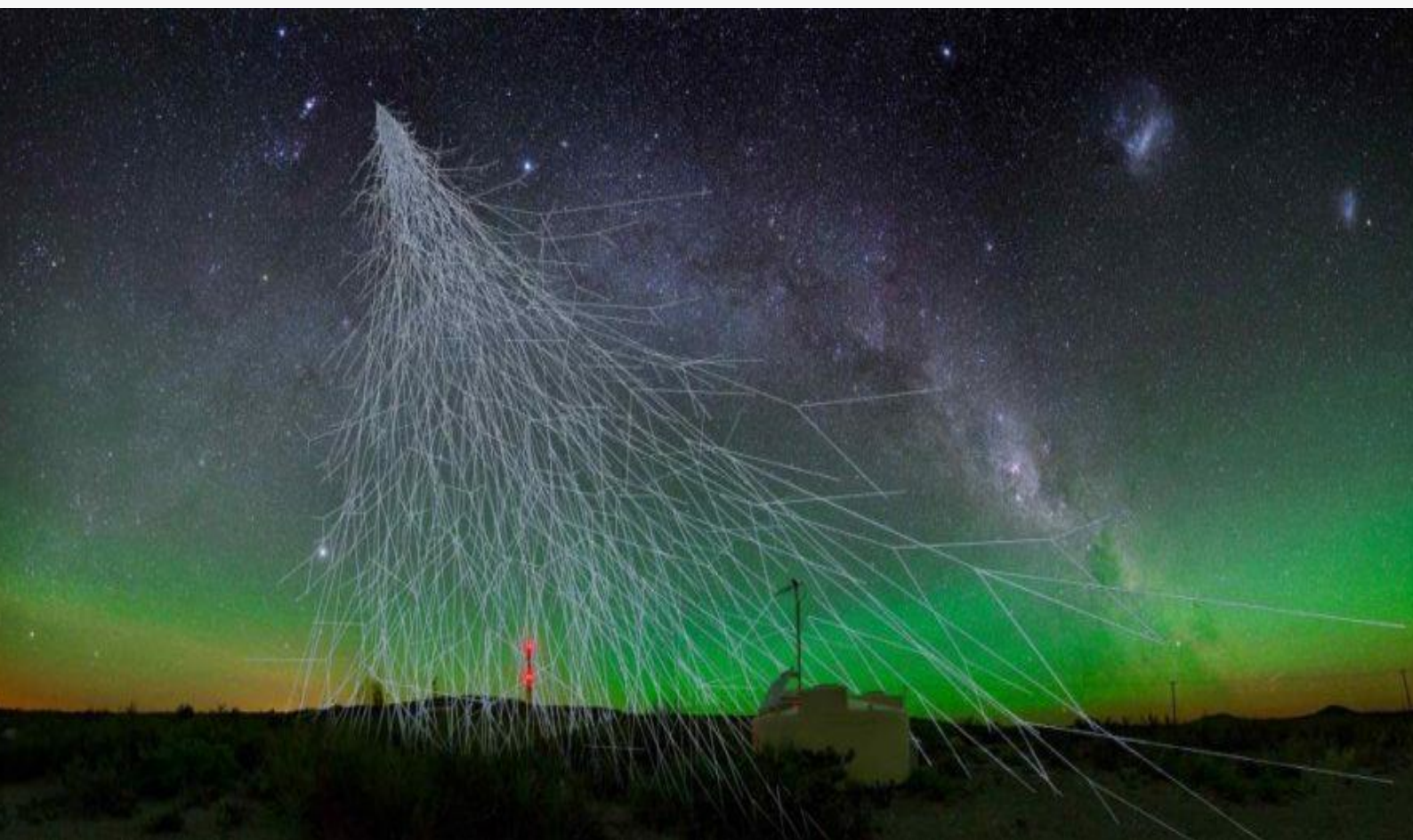
MOZENA, E. R. and OSTERMANN, F. "Sobre a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e o Ensino de Física." **Caderno Brasileiro de Ensino de Física** 33.2 (2016): 327-332.  
Pierre Auger Collaboration. "The Pierre Auger cosmic ray observatory." **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment** 798 (2015): 172-213.

SANTOS, P. S. M. B. **Guia prático da política educacional no Brasil: ações, planos, programas e impactos**. (e-book). 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, v. 1, 2015, 360p.

SILVERMAN, S. "Research on teaching in physical education." *Research quarterly for exercise and sport* 62.4 (1991): 352-364.

SILVA, E. S. **Objetos Digitais de Aprendizagem e o processo de ensino dos conteúdos escolares: da construção à execução**. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/156500/000898535.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 07 set. 2023.

YÁÑEZ, A. and HAIR A. "Rayos cósmicos." (2021). Disponível em: <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3657> Acesso em: 4 jan. 2023.



ISBN 978-658601389-4

