



Caro(a) aluno(a),

Neste Caderno, você continuará o estudo do universo do “muito pequeno”. Serão abordados fenômenos relacionados às menores partículas que compõem a matéria. Você será convidado a sistematizar fatos importantes relacionados à pesquisa de propriedades da matéria e a modelos do ponto de vista atômico e nuclear ao longo do tempo — desde a Grécia Antiga até os dias atuais. Para tanto, você construirá uma “linha do tempo” com os fatos, os modelos e os nomes de pesquisadores relacionados ao tema.

Verá ainda a importante contribuição de um cientista brasileiro, César Lattes, para os estudos das partículas nucleares. Lattes e sua equipe conseguiram detectar, por meio de experimentos, uma partícula conhecida como “méson π ”. Ela havia sido prevista teoricamente anos antes pelo físico Hideki Yukawa, embora não houvesse ainda a comprovação de sua existência até o momento em que a equipe brasileira debruçou-se sobre a questão. Aqui, você terá a oportunidade de entrar em contato com aspectos históricos da pesquisa no Brasil.

Você será apresentado, ainda, a uma enorme família de novas partículas que foram descobertas, de forma teórica ou experimental, ao longo do século passado e que continuam sendo pesquisadas neste século.

Além disso, vai conhecer um modelo que mostra que os prótons e os nêutrons, antes considerados partículas elementares constituintes da matéria, são na verdade formados por partículas ainda menores: os *quarks*. Com esse modelo, chamado “modelo-padrão”, vai conhecer também novas famílias de partículas e terá a oportunidade de verificar como ocorrem as interações no mundo do “muito pequeno”.





Verá ainda como essas novas partículas são organizadas para constituir a matéria, como algumas delas se transformam e conhecerá novas leis de conservação.

Tais conhecimentos permitirão que você analise criticamente, e com base científica, as pesquisas de ponta que são realizadas atualmente, como é o caso do acelerador de partículas LHC – Grande Colisor de Hádrõs (*Large Hadron Collider*). Hoje em dia, tais pesquisas, que envolvem muitos cientistas, são amplamente divulgadas nos meios de comunicação e podem contribuir significativamente para o futuro da Ciência.

Esses temas encerram seus estudos em Física na Educação Básica. Entretanto, espera-se que você continue a estudar a Física, seja no Ensino Superior, seja como mais um amante da Ciência que se intriga com o mundo e se dispõe a decifrá-lo.

Espera-se que esses conhecimentos sirvam de base para que você seja um cidadão crítico e atuante na sociedade em que vive. Procure aproveitá-los ao máximo no seu dia a dia!

Equipe Técnica de Física
Área de Ciências da Natureza
Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas – CENP
Secretaria da Educação do Estado de São Paulo



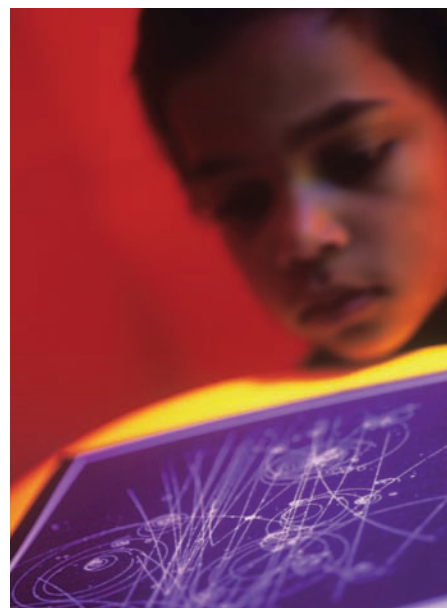
TEMA 1:

PARTÍCULAS ELEMENTARES

Os questionamentos sobre a composição e a estrutura da matéria acompanham a história humana. Na Grécia Antiga, vários filósofos, que buscavam entender do que a matéria seria formada, propuseram a existência de elementos básicos, como água, fogo, ar, terra ou “átomos”, que comporiam a diversidade das coisas. Até hoje, esse assunto é intensamente estudado em busca do conjunto de elementos que estariam na base de tudo o que conhecemos no Universo.

A área que busca compreender entidades fundamentais da matéria, suas propriedades e características é a Física de Partículas. Tais estudos não têm caráter apenas prático, mas também filosófico.

No início deste Caderno, discutiremos como a matéria foi pensada ao longo da história. Em seguida, estudaremos mais sistematicamente como a Física atual investiga o mundo do infinitesimal.



© David Hay Jones/Science Photo Library/SPL DC-Latinstock



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 1 A MATÉRIA EM UMA PERSPECTIVA HISTÓRICA

© Donato Bramante/The Bridgeman Art Library-Cetty Images



Muitos estudos de Física e de outras disciplinas têm origem em diferentes momentos do passado. Por exemplo, a descoberta do DNA tem pouco mais de 50 anos; o modelo atômico de Bohr (que estudamos no Caderno anterior) tem quase cem anos; a noção de calor como energia tem cerca de 200 anos; e assim por diante. Mas algumas ideias científicas podem ter tradição de mais de 2 500 anos.

A busca pelos elementos constituintes da matéria é muito antiga. Nesta atividade, vocês irão pesquisar alguns marcos históricos desse tema e associá-los a outros fatos e outras situações.



PESQUISA EM GRUPO

Você e seu grupo devem construir uma linha do tempo na forma de um grande mural ilustrado, representando várias épocas. Leia o roteiro a seguir.

Construindo uma linha do tempo

Cada grupo deverá pesquisar um período histórico (a ser definido pelo professor) e procurar compreender os seguintes aspectos:

1. Quais foram os mais importantes acontecimentos históricos da época.
2. Quais foram os principais filósofos, pensadores ou cientistas do período.
3. Quais eram as concepções deles sobre a matéria que compõe o Universo.

Mãos à obra!

- Para a realização deste trabalho, vocês irão selecionar imagens que representem o tema pesquisado sobre o período definido para o grupo.
- As imagens serão trazidas para a sala de aula e com elas vocês irão preencher uma parte da linha do tempo.
- É importante que as imagens representem bem o que vocês pesquisaram e que cada grupo estude um período histórico diferente, para que, em conjunto, a classe construa o mural.
- Pequenas legendas podem acrescentar informações às imagens.



Leitura e Análise de Texto

Os filósofos pré-modernos e a natureza da matéria

Ivã Gurgel

Na Grécia Antiga, uma corrente de filósofos acreditava que o Universo inteiro reduzia-se a um, dois ou alguns poucos componentes da matéria. Tales de Mileto (624-546 a.C.) acreditava que toda a imensa diversidade da natureza podia ser representada por um único elemento, a água, compreendida como “o começo de todas as coisas, sobre a qual a Terra flutuaria”. Tempos depois, outros filósofos questionaram, modificaram e ampliaram essa descrição, incluindo novos elementos: para Anaxímenes de Mileto (570-500 a.C.), o elemento primordial seria o ar, pois do ar em compressão se obtém água; para Xenófanes da Jônia (570-460 a.C.), a terra apresentaria o elemento mais primitivo do Universo; para Heráclito de Éfeso (540-480 a.C.), o fogo seria o constituinte mais elementar. Empédocles (495-435 a.C.) foi o primeiro a propor que terra, ar, fogo e água seriam as substâncias em conjunto, elementares da matéria.

Uma maneira diferente de conceber a matéria foi descoberta por volta do século V a.C. Partindo de fenômenos como a digestão alimentar e o cheiro dos alimentos, Leucipo e, mais tarde, seu aluno Demócrito (460-370 a.C.) desenvolveram a teoria atomista. A palavra **átomo** é derivada do grego e significa indivisível (a = não; tomo = divisão). Essa escola acreditava que toda a matéria do mundo era composta de partículas muito pequenas, que não podiam ser destruídas nem quebradas. Evidentemente, não era possível a Demócrito valer-se de qualquer experiência que desse suporte a suas convicções.

As ideias de Empédocles foram adotadas por Platão (c.427-c.347 a.C.) e Aristóteles (384-322 a.C.). Este último acrescentou àqueles quatro elementos um quinto, o éter, e ofereceu uma concepção de Universo completa que perdurou por mais de um milênio.

Durante a Idade Média (século V ao XV), os alquimistas mantiveram, em seus trabalhos, a proposta aristotélica, rejeitando assim a ideia de a matéria ser composta de átomos indivisíveis, hipótese que acabou hibernando por mais de 23 séculos! Só quando a Ciência Moderna se delineava, no início do século XVIII, o conceito de átomo foi retomado, entre outros, por John Dalton, físico e químico inglês.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

Após a leitura do texto, responda às questões:

1. Como alguns filósofos gregos utilizavam os quatro elementos para explicar os fenômenos do mundo? Exemplifique.

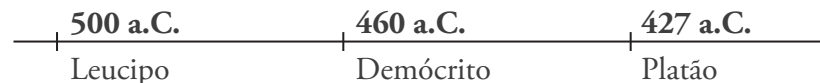
2. O que ocorre com a ideia de átomo na Idade Média?



LIÇÃO DE CASA



1. Observe a linha do tempo a seguir e construa uma nova, com início em meados do século XVI. Pesquise filósofos ou cientistas que se distanciem no tempo com intervalos aproximadamente iguais aos da linha dos pensadores gregos.

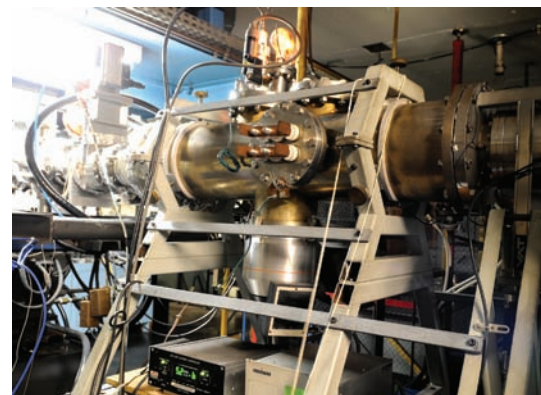


2. Pesquise na biblioteca de sua escola, na internet ou em outras fontes e responda quais cientistas contemporâneos (dos dias de hoje) poderiam ser representados em sua linha do tempo. Justifique suas escolhas.



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 2
A CIÊNCIA NO BRASIL

Se você e os colegas se empenharam na atividade anterior, devem ter tido a oportunidade de conhecer diversos pensadores e cientistas. Na linha do tempo que você ajudou a construir havia algum brasileiro? O que havia no Brasil nos tempos de Aristóteles e nos tempos de Galileu? Com certeza, até o século XV não era possível aparecer nomes de brasileiros, mas e nos séculos XVIII, XIX e XX? Esta Situação de Aprendizagem tratará exatamente do Brasil no contexto da Ciência mundial.



© Fernando Favoretto

Acelerador de partículas Pelletron do Instituto de Física da USP.

Cientistas brasileiros

- Discuta com seu grupo e diga o nome de um brasileiro que fez parte de alguma descoberta/ produção científica importante.



Se sua resposta foi “nenhum”, talvez você se surpreenda com o texto a seguir.



Leitura e Análise de Texto

A seguir, reproduzimos o texto de uma reportagem publicada em 10 de março de 1948 no *Correio Paulistano*, um importante jornal da época. Você vai perceber que ela está sem título! O seu desafio é dar um título para a matéria, baseado em sua compreensão do texto.

Correio Paulistano

São Paulo – Quarta-feira, 10 de março de 1948.

Sugestão de título: _____

A imprensa vespertina publica com grande destaque o noticiário procedente dos Estados Unidos sobre a descoberta de um cientista brasileiro, César Lattes, de São Paulo, e anunciada agora, oficialmente, nos Estados Unidos. Trata-se da produção do Méson, ligado à desintegração atômica e até então somente constatado no raio cósmico. César é um jovem cientista formado pela Universidade de São Paulo, contando 23 anos. É assistente de Física Nuclear da mesma Universidade, tendo se especializado em Física Superior na Inglaterra durante dois anos, no Laboratório de Física da Universidade de Bristol, em gozo de bolsa de estudos. Dali foi convidado a trabalhar na Califórnia com o prof. Lawrence e outros cientistas americanos, num grande ciclotron de 4 mil toneladas. Ali acaba de realizar sua sensacional descoberta referente à produção do Méson, até então só constatado nos raios cósmicos. O Méson é o elemento intermediário entre o Próton e o Elétron, tendo grande importância como componente nuclear. Esses dois elementos já haviam sido produzidos artificialmente, mas o “Méson” só agora o foi graças aos trabalhos do cientista bandeirante.

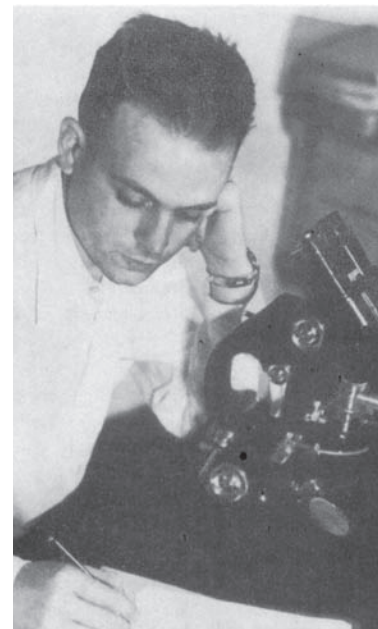
Fonte: Rede de Jornais Leste



Leitura e Análise de Texto

César Lattes e o méson π

Uma das partículas que interagem entre prótons e nêutrons no interior do núcleo atômico chama-se méson π (π) ou píon. Ela foi proposta teoricamente pelo físico japonês H. Yukawa, em 1937, sendo detectada somente em 1947, ou seja, dez anos após sua proposição (Yukawa propôs a existência dos píons para explicar como funcionava a força atrativa capaz de conter, por exemplo, a enorme repulsão elétrica entre dois prótons). O físico brasileiro César Lattes foi um dos principais envolvidos na detecção dessa partícula. Tal fato foi um dos motivos que proporcionaram um grande e rápido desenvolvimento para a Física e para as Ciências no Brasil naquele período. Entre os trabalhos realizados, dois se destacaram tanto pela importância para a Física de Partículas como pela repercussão internacional: a participação na descoberta do píon utilizando raios cósmicos; e a participação na detecção do méson π , utilizando um acelerador de partículas. A descoberta do méson π rendeu a Cecil Powell (líder da equipe de Lattes) o Prêmio Nobel de Física em 1950.



© Unicamp-Arquivo Central/Sitarc

O físico brasileiro César Lattes.

Trabalho no exterior

Lattes foi levado à Universidade de Bristol (Inglaterra) em 1946 por Giuseppe Occhialini, com quem já havia colaborado na Universidade de São Paulo (USP) construindo câmaras de detecção de partículas. Occhialini trabalhava com Powell em Bristol. O laboratório da universidade estava recrutando alunos, mas, em virtude do incentivo do governo inglês no esforço de guerra, era difícil obter candidatos locais. Assim, Occhialini sugeriu a Powell que recrutasse o brasileiro.

As emulsões nucleares nos raios cósmicos

A emulsão fotográfica comum é um meio de registro, tendo usualmente um papel como suporte, que guarda imagens latentes (antes de serem reveladas). O problema na pesquisa com partículas é tornar um filme fotográfico comum sensível à passagem de uma partícula ionizante. Para isso, é necessário aumentar a quantidade de sais de prata no filme a ser revelado. Esse problema foi progressivamente tratado até ser resolvido, em 1946, com as emulsões nucleares.

A descoberta em Bristol

A grande descoberta de Lattes deu-se ao identificar que o composto tetraborato de sódio – bórax –, quando misturado às emulsões, era capaz de alongar em muito tempo a retenção das imagens. Isso viabilizava as exposições de longa duração necessárias para a detecção de

partículas produzidas por raios cósmicos. Após a exposição frustrada das chapas nos Pireneus (cordilheira no sudoeste da Europa), a 2 800 m de altitude, por Occhialini, Lattes expôs as chapas no Monte Chacaltaya, nos Andes Bolivianos, a 5 500 m de altitude (ar mais rarefeito), e detectou rastros do méson π nas emulsões.

A descoberta em Berkeley

Os trabalhos feitos em Bristol com raios cósmicos não mostraram conclusivamente que o méson π era uma partícula nuclearmente ativa. Os mésons, inicialmente detectados na radiação cósmica, não existem normalmente no interior dos núcleos; eles são criados e emitidos durante colisões de projéteis externos com prótons e nêutrons dos núcleos. A demonstração experimental conclusiva foi realizada por Eugene Gardner e Lattes, que aceleraram partículas alfa de 380 MeV utilizando um sincrociclotron da Universidade da Califórnia, em 1948. As partículas alfa, ao incidirem sobre os prótons e nêutrons de um átomo de carbono, produziram os mésons π . Suas trajetórias foram registradas em emulsões nucleares colocadas no interior do equipamento.

Adaptado de SANTOS NETO, Estevan Rouxinol dos. *Física no Brasil para o Ensino Médio: uma abordagem para a compreensão da Ciência e da atividade científica*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Departamento de Metodologia de Ensino, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.if.usp.br/cpgi/dissertacoespdf/Estevam_Rouxinol_dos_Santos_Neto.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2010.

Agora responda:



1. Qual a importância do trabalho de César Lattes para a Ciência da época?

2. Como Lattes chegou ao laboratório da Universidade de Bristol?

3. O que significa “desintegração nuclear”? (Lembre-se de que esse assunto foi estudado no Caderno da 3ª série, Volume 3.)

4. Explique por que o experimento feito por Giuseppe Occhialini para detecção do méson π não funcionou nos Pireneus, mas deu certo quando feito por César Lattes no Monte Chacaltaya. Por que o experimento não foi bem-sucedido a 2 800 m de altitude, mas obteve sucesso na Bolívia a 5 500 m?

5. O que é MeV? O que ele mede? Consulte seu livro didático e tente expressar esse valor em uma unidade mais conhecida.

 VOCÊ APRENDEU? 

1. Qual a importância do trabalho de Lattes na detecção do méson π ? Ele teria chegado a essa descoberta por mero acaso ou por uma sucessão de fatos? Explique.

2. Qual a importância dos filmes fotográficos na detecção do méson π ?



Veja o título dado à matéria veiculada pelo *Correio Paulistano* em março de 1948. Compare com o título que você escolheu para essa matéria quando realizou a atividade da seção Leitura e Análise de Texto, página 7.

CORREIO PAULISTANO

SÃO PAULO - QUARTA-FEIRA, 10 DE MARÇO DE 1948.

DESCOBERTA DE UM CIENTISTA BRASILEIRO

TRATA-SE DO "MESON", IMPORTANTE COMPONENTE NUCLEAR: PAULISTA, O AUTOR DO INVENTO.

| | |
|---|--|
| <p>A imprensa vespertina publica com grande destaque o noticiário procedente dos Estados Unidos sobre a descoberta de um cientista brasileiro, César Lattes, de São Paulo e anunciada agora, oficialmente nos Estados Unidos. Trata-se da produção do Meson, ligado à desintegração atômica e até então somente constatado no raio cósmico. César é um jovem cientista formado pela Universidade de São Paulo, contando 23 anos. É assistente de Física Nuclear da mesma Universidade, tendo se especializado em Física Superior na Inglaterra durante dois anos, no Laboratório de Física da Universidade de</p> | <p>Bristol, em gozo de bolsa de estudos. Dali foi convidado a trabalhar na Califórnia com o prof. Lawrence e outros cientistas americanos, num grande ciclotron de 4 mil toneladas. Ali acaba de realizar sua sensacional descoberta referente à produção do Meson, até então só constatado nos raios cósmicos. O Meson é o elemento intermediário entre o Próton e o Elétron, tendo grande importância como componente nuclear. Esses dois elementos já haviam sido produzidos artificialmente, mas o "Meson" só agora o foi graças aos trabalhos do cientista bandeirante.</p> |
|---|--|

Fonte: Rede de Jornais Leste.



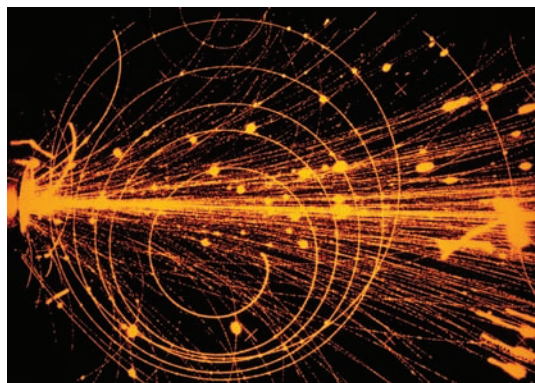
LIÇÃO DE CASA



1. Pesquise na biblioteca de sua escola, na internet ou em outras fontes os nomes dos cientistas brasileiros relacionados a seguir. Qual é a área de trabalho deles e sua contribuição para a Ciência? Destaque o local e a data de seus trabalhos.
 - a) Padre Bartolomeu Lourenço de Gusmão.
 - b) Roberto Landell de Moura.
 - c) Mario Schenberg.
2. Consulte seu livro didático ou a internet e determine as características físicas do méson, como massa, carga elétrica etc. Por que sua detecção era difícil na época?



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 3 NOVAS PARTÍCULAS NO CENÁRIO DA FÍSICA



© Cem/Science Photo Library/SPL DC-Latinstock

As partículas são entidades com massa muito pequena, têm vida média às vezes efêmera e, para complicar, nem sempre possuem carga elétrica. Essas características fazem que as partículas passem, na maioria das vezes, despercebidas. Apenas para exemplificar, neste momento todos nós estamos sendo “atravessados” por um grande número de partículas, como os neutrinos e os mésons de origem cósmica, só que não percebemos nenhuma manifestação delas. Nesta Situação de Aprendizagem, vamos abordar o processo de detecção de partículas. O objetivo é mostrar como a Ciência desenvolveu meios de tornar tais entidades “visíveis aos nossos sentidos”. A investigação será fundamentada no estudo das trajetórias que as partículas deixam ao penetrar um gás convenientemente preparado.

Na Situação de Aprendizagem anterior, vimos que uma partícula ainda desconhecida, o méson, foi descoberta em 1947. Com isso, alguém poderia perguntar: existem outras partículas, além de prótons, nêutrons, elétrons e mésons? A resposta é sim! Pesquisas iniciadas há cerca de 50 anos revelaram uma série de partículas até então desconhecidas. Elas assemelham-se em muitos aspectos aos prótons, aos nêutrons e aos elétrons. No entanto, pouco se fala sobre elas fora dos laboratórios e centros de pesquisa. Ocorre que a maior parte dessas partículas tem um “tempo de vida” muito curto, e muitas delas são detectadas apenas em situações ou equipamentos capazes de acelerar partículas até altíssimas energias.

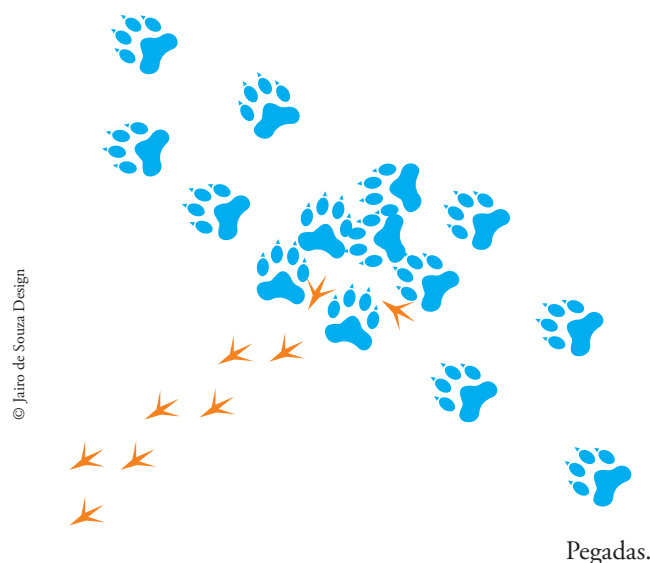
Os primeiros estudos que detectaram esses tipos de partícula envolveram a pesquisa com raios cósmicos, isto é, radiação originária do espaço que chega à Terra dotada de alta energia. O dispositivo de detecção utilizado foi chamado de câmara de Wilson e, posteriormente, de câmara de bolhas (veja a Parte II da seção Descobrimos novas partículas).

Descobrimos novas partículas

Parte I

Você já deve ter visto filmes de detetives ou de faroeste nos quais se tenta descobrir o caminho que alguém fez pelos rastros deixados. Em Física de Partículas acontece algo parecido. Para que você “sinta” um pouco a emoção de desvendar um mistério, vamos fazer o seguinte exercício:

1. Observe a figura a seguir. Ela representa pegadas que foram deixadas em um local.

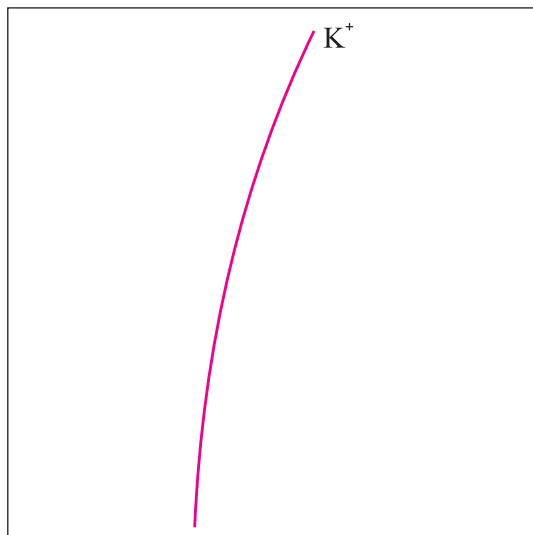


2. Agora, “invente” e relate uma história que forneça uma explicação para a imagem observada. Este relato será lido para a classe.

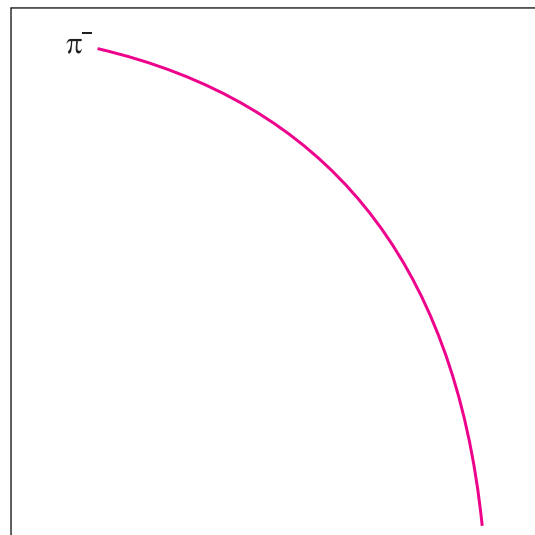
3. O que se pode concluir com base nas várias histórias ou explicações dadas para a figura?

Parte II

Após a primeira parte da atividade, você deve ter percebido que, por meio das pegadas (rastros), é possível imaginar uma explicação para o comportamento de algo que você não pode testemunhar. Vamos ver agora como podemos obter informações sobre partículas quando estas passam por uma câmara de bolhas e ali deixam seu “rastro”. Observe as figuras a seguir, que mostram os rastros deixados pelas partículas.



Rastros deixados por um *kaon* positivo (K^+).



Rastros deixados por um pión negativo (π^-).

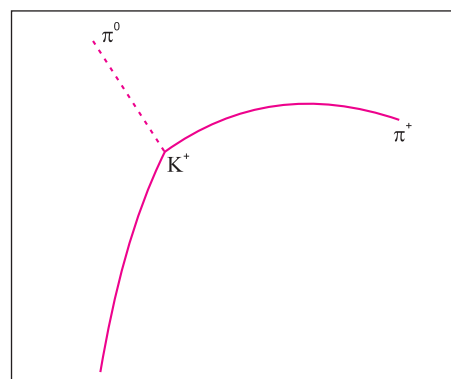
Gráficos: © Jairo de Souza Design

As partículas fazem uma trajetória curva em razão da presença de um campo magnético (veja o Caderno de Física da 3ª série, Volume 2) na câmara. Aquelas com carga elétrica diferente de zero sofrem uma força perpendicular ao seu movimento quando entram em uma região de campo magnético. Essa força depende da carga elétrica; quanto mais intensa a força, maior a carga. Dependendo do sentido da força, para a direita ou para a esquerda, é possível saber se a carga elétrica é positiva ou negativa (veja na figura anterior que a partícula positiva está curvada para a direita, e a negativa, para a esquerda).

Com base na curvatura da trajetória, também é possível determinar sua massa. Isso ocorre porque, se temos duas partículas nas mesmas condições iniciais, ou seja, mesma carga elétrica e mesma energia cinética, submetidas a um mesmo campo magnético, a partícula de menor massa executará uma trajetória com curva mais acentuada. Assim, podemos afirmar que, no caso anterior, o *kaon* tem uma massa maior do que o pión, pois sua trajetória é menos curva.

O que torna o estudo em câmaras de bolhas ainda mais interessante não é apenas observar uma partícula “passando”, mas poder “pegá-la no flagra” se transformando em outra(s) partícula(s). Essa transformação pode ocorrer espontaneamente ou por intermédio de uma colisão. Veja o exemplo na figura ao lado.

As partículas neutras não são detectadas nas câmaras de bolhas, e, por isso, são apresentadas com uma linha tracejada, apenas para indicar sua existência. Mesmo não aparecendo, elas devem ser consideradas, para que se possam explicar os fenômenos físicos, como veremos no experimento a seguir.



© Jairo de Souza Design

Um *kaon* positivo (K^+) entra na câmara de bolhas e, em determinado instante, decai, isto é, transforma-se em um pión positivo (π^+) e em um pión neutro (π^0).



ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

Materiais

- figuras das partículas disponíveis para recortar na última página deste Caderno.

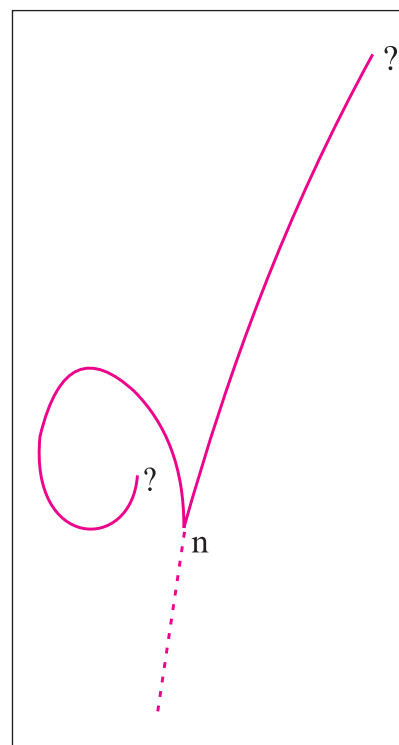
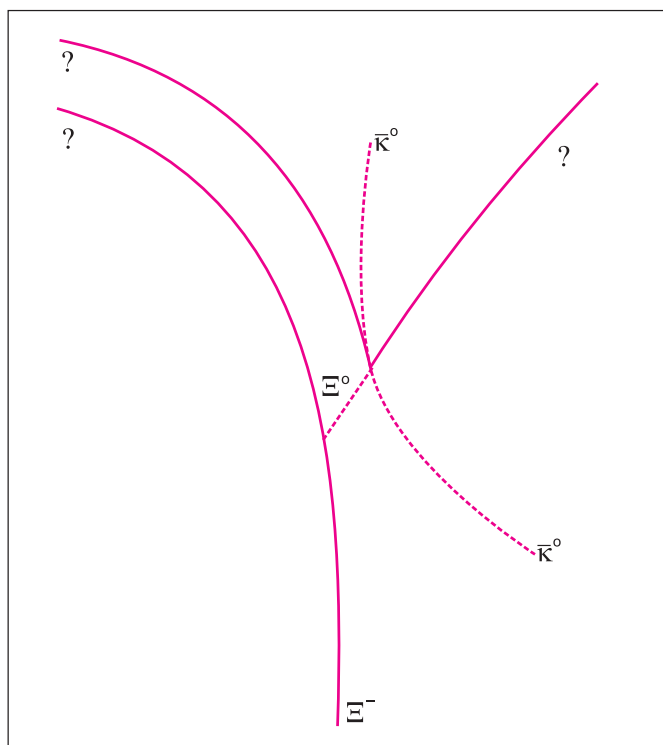
Mãos à obra!

Agora vocês deverão descobrir como um conjunto de partículas interage por meio dos “rastros” deixados por elas. Embora bastante simplificado, esse procedimento de análise é semelhante ao que César Lattes e outros cientistas realizavam com as imagens das câmaras de bolhas nos estudos de partículas.

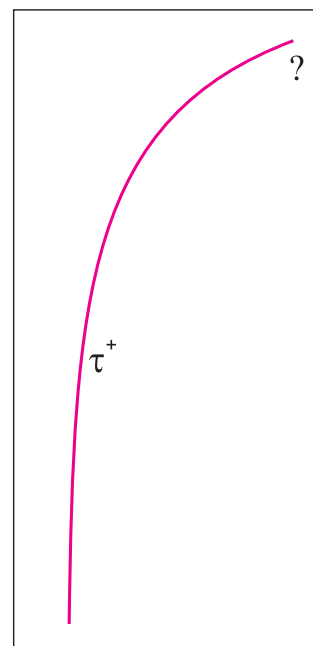
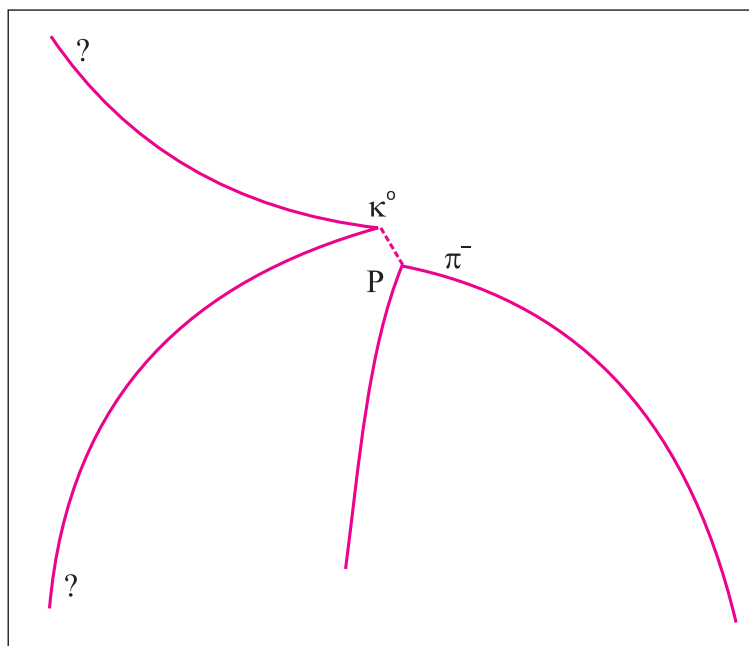
A seguir, apresentamos imagens das trajetórias que diferentes partículas deixaram ao passar em uma câmara de bolhas sem ocorrer nenhuma interação ou decaimento.

Diferentes reações em câmaras de bolhas

As imagens a seguir mostram as trajetórias (rastros) deixadas por partículas em uma câmara de bolhas. Compare-as com as imagens das partículas de referência (última página deste Caderno) e descubra quais transformações ocorreram em cada um dos casos apresentados abaixo.



Gráficos: © Jairo de Souza Design



Características das partículas

| Partícula | Massa (MeV/c ²) | Vida Média (s) | Carga Elétrica (e) | Modos de Decaimento |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------|--|
| Elétron (e ⁻) | 0,511 | Estável | -1 | |
| Múon (μ ⁻) | 105,7 | 2,20 × 10 ⁻⁶ | -1 | e ⁻ |
| Tau (τ ⁻) | 1784 | 4 × 10 ⁻¹³ | -1 | (μ ⁻) ou (e ⁻) |
| Píon (π ⁺) | 139,6 | 2,60 × 10 ⁻⁸ | +1 | μ ⁺ |
| Píon (π ⁰) | 135,0 | 0,83 × 10 ⁻¹⁶ | 0 | 2γ |
| Kaon (K ⁺) | 493,7 | 1,24 × 10 ⁻⁸ | +1 | (μ ⁺) ou (π ⁰ e π ⁺) |
| Kaon (K _s ⁰) | 497,7 | 0,89 × 10 ⁻¹⁰ | 0 | (π ⁺ e π ⁻) ou (2π ⁰) |
| Kaon (K _L ⁰) | 497,7 | 5,2 × 10 ⁻⁸ | 0 | (π ⁺ e e ⁻) ou (π ⁻ e e ⁺) ou (3π ⁰) |
| Próton (p) | 938,3 | Estável | +1 | |
| Nêutron (n) | 939,6 | 920 | 0 | (p e e ⁻) |
| Lambda (Λ ⁰) | 1 115,6 | 2,6 × 10 ⁻¹⁰ | 0 | (p e π ⁻) ou (n e π ⁰) |
| Sigma (Σ ⁺) | 1 189,4 | 0,80 × 10 ⁻¹⁰ | +1 | (p e π ⁰) ou (n e π ⁺) |
| Sigma (Σ ⁰) | 1 192,5 | 6 × 10 ⁻²⁰ | 0 | (Λ ⁰ e γ) |
| Sigma (Σ ⁻) | 1 197,3 | 1,5 × 10 ⁻¹⁰ | -1 | (n e π ⁻) |
| Xi (Ξ ⁰) | 1 315 | 2,9 × 10 ⁻¹⁰ | 0 | (Λ ⁰ e π ⁰) |
| Xi (Ξ ⁻) | 1 321 | 1,64 × 10 ⁻¹⁰ | -1 | (Λ ⁰ e π ⁻) |
| Ômega (Ω ⁻) | 1 672 | 0,82 × 10 ⁻¹⁰ | -1 | (Ξ ⁰ e π ⁻) ou (Λ ⁰ e K ⁻) |

Fonte: SERWAY, R.; JEWETT JR., J. *Princípios de Física*. São Paulo: Thomson, 2004. V. 4.

Exemplos de partículas descobertas ao longo do século XX.



Leitura e Análise de Texto

Formas de detecção de partículas elementares: câmara de bolhas

Maurício Pietrocola

O físico Charles Thomson Rees Wilson levou 40 anos para aperfeiçoar a técnica experimental usada para a detecção de partículas elementares, finalmente concluída em 1911. Trabalhando na Universidade de Cambridge, na Inglaterra, Wilson usou estudos sobre a conduta de íons nos gases para idealizar um modo de detectar a passagem de partículas. Se um feixe de partículas

carregadas atravessasse um vapor super-resfriado, este se condensaria em gotículas em torno daquelas partículas, razão pela qual esse dispositivo passou a ser conhecido como câmara de névoa. Como esse dispositivo, também denominado câmara de Wilson, foi muito útil ao estudo da radioatividade e dos raios catódicos na primeira metade do século XX, Wilson recebeu, com o físico norte-americano Arthur Holly Compton, o Prêmio Nobel de Física de 1927.

A câmara de Wilson foi substituída pela câmara de bolhas, inventada pelo físico norte-americano Donald Arthur Glaser. A grande vantagem da câmara de bolhas em relação à câmara de névoa decorre do fato de que a substituição do gás supersaturado por um líquido superaquecido faz que haja aumento de mais de mil vezes na densidade da câmara, possibilitando, dessa maneira, o maior número de colisões entre as partículas ionizantes e os alvos (partículas constituintes do líquido da câmara) e, em consequência, as trajetórias das partículas que estão sendo observadas se tornam mais curtas. As primeiras investigações sobre a formação de bolhas em torno de um íon, por ebulição de um líquido superaquecido – ideia central da câmara de bolhas –, foram apresentadas por Glaser em 1952.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

1. Por que as câmaras de bolhas têm esse nome?

2. Explique por que, em uma câmara de bolhas, partículas com massa menor realizam trajetórias na forma de curvas mais fechadas em comparação com as de massa maior. Explique também por que algumas trajetórias sob a ação do campo magnético são espirais e não circulares.



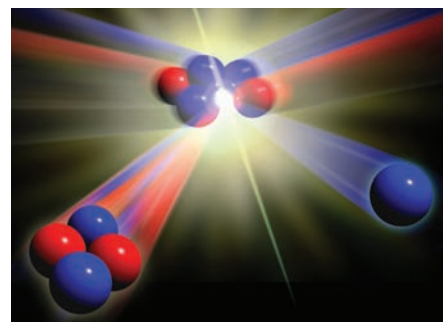
LIÇÃO DE CASA



1. Explique por que, dentro de uma câmara de bolhas, uma partícula faz uma trajetória curva (lembre-se da presença de campo magnético). Determine quais as condições para que isso sempre aconteça e obtenha uma expressão matemática para o valor do raio de curvatura em função da carga elétrica, da velocidade, da massa da partícula e do valor do campo magnético.
2. Partículas neutras podem ser detectadas em uma câmara de bolhas? Explique (consulte seu livro didático ou faça uma pesquisa na biblioteca da escola ou na internet, se precisar).

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 4
TRANSFORMAÇÕES DE PARTÍCULAS

Na Situação de Aprendizagem anterior, quando estudamos o mundo das partículas, verificamos que ele é repleto de surpresas, pois uma partícula nem sempre permanece estável, podendo se transformar em outra. Nesse contexto, poderíamos nos perguntar: essas transformações são ao acaso, aleatórias, ou existe alguma regra que nos permite compreendê-las? A resposta a essa pergunta está nas leis de conservação, que você já estudou nos anos anteriores.



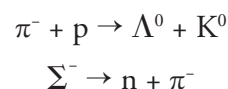
© Seymour/Science Photo Library/
SPL_DC-Lainstock

O mundo das partículas e as leis de conservação

Você já estudou grandezas físicas que se conservam. A energia é um exemplo, pois, quando analisamos um sistema fechado, isto é, um conjunto de corpos interagindo, vemos que a quantidade total de energia permanece a mesma, pois não há influência externa. Quando analisamos as transformações das partículas, devemos considerar que existe um conjunto de regras a ser seguidas.

1. Conservação da carga elétrica

Uma das regras importantes no estudo das partículas é o princípio de conservação da carga elétrica. Quando ocorre uma reação, isto é, a transformação de uma ou mais partículas em outras, a quantidade de carga total antes e depois da reação deve ser a mesma. Veja os exemplos a seguir que mostram reações que causaram transformações de partículas:



No primeiro caso, um pión negativo interage com um próton positivo. A quantidade total de carga elétrica é zero, pois a soma de um elemento positivo com um negativo é nula: $(+1) + (-1) = 0$. Se verificarmos o resultado da reação, veremos que existem duas partículas, lambda e kaon, neutras. Uma vez que ambas são neutras, como indicado pelo índice zero, o resultado também será nulo ($0 + 0 = 0$).

No segundo caso, a partícula inicial é a sigma negativa. Após a reação, que neste caso é um decaimento espontâneo, ela se transforma em um nêutron, sem carga, e em um pión negativo. Observamos que em ambos os casos a quantidade de carga é conservada, pois o valor inicial é igual ao valor final.

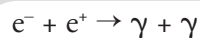
Veja se você compreendeu a explicação resolvendo o exercício abaixo:

• Quais das reações apresentadas a seguir podem ocorrer, ou seja, quais não violam o princípio de conservação de carga elétrica?

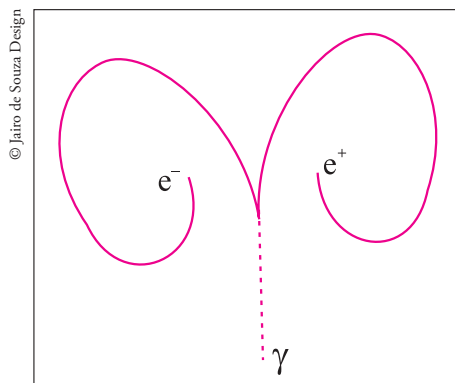
- $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$
- $K^+ + n \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$
- $\pi^0 + n \rightarrow K^+ + \Sigma^-$
- $\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$
- $n + \pi^0 \rightarrow p + \pi^-$
- $K^+ + \pi^- \rightarrow p + n$
- $n \rightarrow p + e^-$

2. Conservação da massa-energia

Você já estudou, em volumes anteriores, que a energia se conserva em sistemas fechados: ou seja, o total da energia antes de determinado acontecimento deveria permanecer igual depois dele. Essa regra continua válida para as partículas, mas cuidado: a massa pode ser transformada em energia e vice-versa (veja o Caderno da 1ª série, Volume 2). Uma reação interessante ocorre quando uma partícula se encontra com sua antipartícula (observe a figura abaixo): ambas se aniquilam e se transformam em energia emitida na forma de radiação eletromagnética, radiação γ , conforme a seguinte reação:



O oposto também pode ocorrer. Se tivermos radiação gama com quantidade suficiente de energia, podemos criar um par: partícula e antipartícula. Esse processo segue a seguinte reação:



Formação de um par elétron-pósitron em uma câmara de bolhas.

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

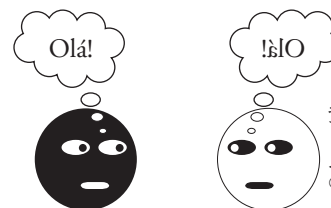
A quantidade de energia necessária para a criação de um par é dada pela equação de Albert Einstein $E = m_0 \times c^2$, sendo E a energia, m_0 a massa de repouso da partícula e c a velocidade da luz. Por exemplo, para se criar um par elétron-pósitron, a energia necessária será igual à soma das massas das partículas multiplicadas pela velocidade da luz ao quadrado. Como ambas têm a mesma massa, $0,511 \text{ MeV}/c^2$, basta fazer $2 \times 0,511 \text{ MeV}/c^2$. Repare que a unidade de massa indicada já está em função da velocidade da luz, fazendo que o resultado venha diretamente da multiplicação, isto é, $1,022 \text{ MeV}$. Da mesma forma, a energia liberada no encontro de uma partícula com sua oposta é dada pela mesma equação. Veja que, em lugar de circular, a trajetória é espiral, por causa da perda da energia pelas partículas, ao produzirem bolhas na câmara.



As antipartículas e a descoberta do pósitron

Imagine você andando na rua. De repente, olha para o outro lado e vê, na outra calçada, uma pessoa muito parecida com você, mas com uma peculiaridade: uma característica nela é oposta; a pinta ou *piercing* do lado direito está no lado esquerdo, ou a divisão do cabelo está invertida. Acho que você, como qualquer um, ficaria espantado e muito assustado, perguntando como é possível isso acontecer.

Para nossa tranquilidade, sabemos que isso é praticamente impossível de ocorrer com as pessoas, mas não com as partículas elementares! A ideia de partículas quase idênticas (mas com propriedade oposta) começou a ser formulada em 1928, quando o inglês Paul Dirac elaborou uma expressão matemática para a função de onda do elétron.



Dirac notou que essa expressão admitia duas soluções, uma com energia positiva e a outra, “misteriosa”, com energia negativa. Ele considerou que esta não deveria ser descartada. Mas, ao propor isso, ele se confrontou com uma questão: dada a tendência dos sistemas físicos de evoluir para o estado de energia mínima, elétrons deveriam ir para estados cada vez mais negativos, sem nunca se estabilizar. Para solucionar esse problema, Dirac postulou que todos os estados negativos de energia já estariam ocupados por elétrons. Dessa forma, o princípio da exclusão de Pauli impediria que os elétrons dos estados positivos transitassem para os estados negativos já ocupados, estabilizando os sistemas. Com isso, somente seriam observados efeitos quando um elétron, que ocupa um dos estados negativos, fosse excitado e transitasse para um estado positivo, deixando um buraco (ou uma bolha). Esse buraco, que poderia ser observado, se comportaria como uma partícula de carga e energia positivas. O candidato mais óbvio para ocupar esse lugar seria o próton. No entanto, a equação previa que essa partícula deveria ter a mesma massa do elétron. A interpretação de Dirac foi só parcialmente validada em 1932, quando o norte-americano Carl David Anderson (1905-1991) detectou experimentalmente partículas com a mesma massa do elétron, porém de carga positiva. Elas foram denominadas pósitron (e^+).

A ideia inicial de Dirac foi superada ou ampliada no final da década de 1940, com o desenvolvimento da eletrodinâmica quântica (QED) por Richard Feynman (1918-1988) e

Ernst Stueckelberg (1905-1984), que propuseram a ideia de antipartículas. Segundo eles, para cada partícula existe uma antipartícula com a mesma massa e carga de sinal contrário. Assim, a nova teoria previa também antiprótons e antinêutrons, por exemplo. Essas partículas foram detectadas respectivamente em 1955 e 1956, com a construção de aceleradores de partículas mais potentes.

A característica mais notável que envolve as antipartículas é que, quando encontram suas partículas equivalentes, ambas se aniquilam, transformando-se em energia.

Hoje em dia, também se produz anti-hidrogênio (pósitron + antipróton) em grandes aceleradores.



PARA SABER MAIS

É possível que você não tenha entendido alguns trechos do texto acima, mas, se este tema despertou seu interesse, pesquise os seguintes assuntos:

1. Princípio de exclusão de Pauli.
2. Por que os sistemas físicos tendem ao nível de energia mínima?
3. Como um buraco deixado por um elétron de energia negativa pode ser pensado como uma partícula positiva de energia positiva?
4. Quem detectou o antipróton e o antinêutron?
5. Representação de um anti-hidrogênio.

Lei da Conservação da Quantidade de Movimento

Além da conservação da massa-energia e da carga, as partículas elementares também obedecem à Lei da Conservação da Quantidade de Movimento. Vale lembrar que essa grandeza física é expressa em sua forma mais genérica em termos de vetores e relaciona a evolução de um sistema físico antes e depois de um dado evento, por meio da seguinte expressão:

$$\vec{Q}_{\text{antes}} = \vec{Q}_{\text{depois}}$$

Utilizando também esta lei, resolva o problema a seguir.

Um fóton de energia E^γ maior do que $1,022 \text{ MeV}/c^2$ ($2 \times 0,511 \text{ MeV}/c^2$) pode interagir com um material criando um par elétron-pósitron. A energia excedente se transforma em

energia cinética do par elétron-pósitron, que atravessa o material, perdendo energia sucessivamente por excitação ou ionizações de átomos. Quando o pósitron perde toda a sua energia cinética e para, ele se aniquila com algum elétron e há a emissão de dois raios gama.

Determine:

- a) A energia de cada raio gama. Explique por que precisam ser criados dois raios.

- b) Desenhe possíveis trajetórias para os dois raios gama produzidos.



VOCÊ APRENDEU?



1. Por que a Lei da Conservação da Energia não pode ser aplicada em sua forma original às partículas elementares?

2. Explique o que são as antipartículas.



LIÇÃO DE CASA

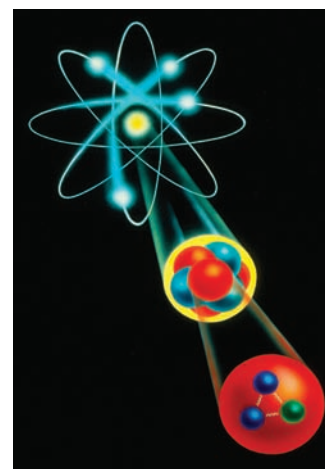


- Determine a energia mínima do fóton para que as seguintes reações ocorram:
 - $\gamma \rightarrow \mu^+ + \mu^-$
 - $\gamma \rightarrow \bar{p} + n + \pi^+$
 - $\gamma \rightarrow \pi^+ + K^+ + \Sigma^- + \bar{p}$
- Imagine a nave do futuro, como a da série *Star Trek*, em que o motor tem como base a reação matéria/antimatéria.
 - Explique qual seria sua vantagem sobre outros tipos de propulsor (combustão, fissão).
 - Imagine que o aniquilamento ocorresse entre hidrogênio e anti-hidrogênio e escreva a reação a ele.
 - Calcule a energia na forma de radiação (fóton) obtida em cada aniquilamento.
 - Se tivéssemos 1 litro de gasolina e 1 litro de matéria/antimatéria, quanta energia poderia ser obtida em cada processo?

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 5
O MODELO DOS QUARKS

Na Situação de Aprendizagem 3, você aprendeu que existe uma quantidade de partículas muito maior do que imaginávamos. Além de prótons, nêutrons e elétrons, há várias outras partículas, como píons, taus e *kaons*. Com isso, a ideia de partícula elementar foi abalada, pois a enorme quantidade de partículas elementares não combina com o propósito de encontrar os constituintes básicos.

Nesta Situação de Aprendizagem, você estudará a tentativa de fundamentar todas essas partículas como uma combinação de poucas entidades. Os *quarks* retomam o sonho dos atomistas gregos de basear a diversidade do mundo em alguns poucos tijolos elementares.

**Gell-Mann e a ideia de quark**

Um dos físicos que tiveram a sensação de que existiam partículas demais foi Murray Gell-Mann. Ao analisar as características das partículas conhecidas, percebeu que poderíamos imaginar que as partículas que interagem por meio da força forte (ou seja, as intensas forças atrativas que só atuam no interior dos núcleos) são formadas por um grupo de partículas ainda menores, isto é, mais elementares, que ele chamou de *quarks* de carga fracionária. Inicialmente, ele considerou que existiam três tipos de *quark*: o *up* (u), o *down* (d) e o *strange* (s). Alguns anos depois, mais três *quarks* foram acrescentados, denominados *charmed* (c), *bottom* (b) e, por último, o *quark top* (t). Além desses seis *quarks*, já se sabia que toda partícula tem uma irmã gêmea – as antipartículas (lembre-se da Situação de Aprendizagem 4). Com isso, temos ao todo 12: 6 *quarks* e 6 *antiquarks* que constituem a base para formar todas as outras partículas que interagem por meio da força forte. O conjunto de partículas formadas é chamado de **hádrons** (do nome grego para “forte”).

Os *quarks* têm carga elétrica. No entanto, sua carga elétrica é fracionária, com valores que podem ser de $+\frac{2}{3}e$ ou de $-\frac{1}{3}e$ (e é a carga elementar do elétron, com o valor em módulo de $1,6 \times 10^{-19}$ C). Além da carga elétrica, os *quarks* têm um segundo tipo de carga, denominado carga de cor. Isso não significa que eles sejam coloridos de verdade; esse nome foi dado porque este novo tipo de propriedade seria expresso de três formas diferentes. Como sabemos que as cores presentes no nosso dia a dia são combinações de três cores primárias (cor-luz), denominou-se a carga dos *quarks* de carga de cor ou simplesmente carga-cor. Elas são azul, verde e vermelho. Veja que as cores dos *antiquarks* são as cores complementares das cores primárias: amarelo (antiazul), magenta (antiverde) e ciano (antivermelho).

Traduzindo em termos de *quarks*, um próton seria formado por dois *quarks up* e um *quark down*
 $p = uud$

Veja que, em termos de carga, teríamos:

$$u + u + d = +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1 \text{ (a carga do próton é uma vez o valor da carga elementar)}$$

Em termos de cores, poderíamos ter:

$$u \text{ (vermelho)} + u \text{ (azul)} + d \text{ (verde)}$$

Um méson $\pi (+)$ é formado por um *quark* e um *antiquark*.

A tabela a seguir faz um resumo dessas características:

| Características dos quarks | | | | | |
|----------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|
| Nome | Carga elétrica | Carga de cor | Nome | Carga elétrica | Carga de cor |
| <i>Up</i> | $+\frac{2}{3}e$ | Vermelho ou Azul ou Verde | <i>Antiup</i> | $-\frac{2}{3}e$ | Ciano ou Magenta ou Amarelo |
| <i>Charmed</i> | $+\frac{2}{3}e$ | Vermelho ou Azul ou Verde | <i>Anticharmed</i> | $-\frac{2}{3}e$ | Ciano ou Magenta ou Amarelo |
| <i>Top</i> | $+\frac{2}{3}e$ | Vermelho ou Azul ou Verde | <i>Antitop</i> | $-\frac{2}{3}e$ | Ciano ou Magenta ou Amarelo |
| <i>Down</i> | $-\frac{1}{3}e$ | Vermelho ou Azul ou Verde | <i>Antidown</i> | $+\frac{1}{3}e$ | Ciano ou Magenta ou Amarelo |
| <i>Strange</i> | $-\frac{1}{3}e$ | Vermelho ou Azul ou Verde | <i>Antistrange</i> | $+\frac{1}{3}e$ | Ciano ou Magenta ou Amarelo |
| <i>Bottom</i> | $-\frac{1}{3}e$ | Vermelho ou Azul ou Verde | <i>Antibottom</i> | $+\frac{1}{3}e$ | Ciano ou Magenta ou Amarelo |

Fonte: SERWAY, R.; JEWETT JR., J. *Princípios de Física*. São Paulo: Thomson, 2004. V. 4.



Importante!

Os elétrons não são formados por *quarks*. Diferentemente dos hádrons, os elétrons pertencem a uma família de partículas que não interagem por meio da força forte, e que é chamada de **lépton**. O múon e o tau são léptons (do nome grego “para leve”) também e têm carga elétrica idêntica à dos elétrons, mas maior massa. Veja o texto *A origem do nome quark*, na página 27.

1. Por que partículas, como o próton, não podem ser formadas por apenas dois *quarks*?

2. Por que o conjunto proposto de *quarks* não poderia se limitar a apenas seis?

3. Um elétron pode ser atraído por outro elétron do mesmo modo que ocorre entre um par de prótons presente no núcleo atômico? Justifique.

4. Ligue as cores primárias da coluna da esquerda com suas respectivas cores complementares na coluna da direita.



Montando partículas com *quarks*

Receita: toda partícula formada por *quarks* é chamada de hádron e deve ter:

- uma carga elétrica que seja um número inteiro entre -2 e 2 (isto é, -2 , -1 , 0 , $+1$ ou $+2$);
- uma carga de cor sempre branca.

Para obter uma partícula com essas características, você deve combinar dois ou mais *quarks*. E, ao juntá-los, você precisa somar suas cargas elétricas e de cor.



Regras da soma de cores

Você já deve ter estudado a soma de cores na 2ª série. Mas, para ajudar, apresentamos um resumo das regras da soma de cores:

Vermelho + Azul + Verde = Branco

Vermelho + Azul = Magenta

Vermelho + Verde = Amarelo

Verde + Azul = Ciano

Agora, responda:

1. É possível formar uma partícula de quatro *quarks*? Justifique.

2. Por que não há uma partícula de carga 3 e?

3. Determine a carga elétrica (em múltiplos de e) dos bárions e dos mésons da tabela a seguir.

| Partículas formadas por <i>quarks</i> hádrons | | | | | |
|---|---------------|----------------|--------------------------|---------------|----------------|
| Bárions | <i>Quarks</i> | Carga elétrica | Mésons | <i>Quarks</i> | Carga elétrica |
| Próton (p) | uud | | Píon (π^+) | $\bar{d}u$ | |
| Nêutron (n) | udd | | Píon (π^-) | $\bar{u}d$ | |
| Lambda (Λ^0) | uds | | <i>Kaon</i> (K^+) | $\bar{s}u$ | |
| Delta (Δ^{++}) | uuu | | <i>Kaon</i> (K^0) | $\bar{s}d$ | |
| Sigma (Σ^+) | uus | | <i>Kaon</i> (K^{0-}) | $\bar{d}s$ | |
| Sigma (Σ^0) | uds | | <i>Kaon</i> (K^-) | $\bar{u}s$ | |
| Sigma (Σ^-) | dds | | J/ ψ | $\bar{c}c$ | |
| Xi (Ξ^0) | uss | | D^+ | $\bar{d}c$ | |
| Xi (Ξ^-) | dss | | D_0 | $\bar{u}c$ | |
| Ômega (Ω^-) | sss | | D_s^+ | $\bar{s}c$ | |
| Lambda (Λ_c^0) | udc | | B^+ | $\bar{b}u$ | |
| Sigma (Σ_c^{++}) | uuc | | B^{0-} | $\bar{d}b$ | |
| Sigma (Σ_c^+) | udc | | B^0 | $\bar{b}d$ | |
| Xi (Ξ_c^+) | usc | | B^- | $\bar{u}b$ | |

Fonte: SERWAY, R.; JEWETT JR., J. *Princípios de Física*. São Paulo: Thomson, 2004. V. 4.



Dica!

A ideia desta questão é que você suponha a composição das partículas tendo a carga elétrica como parâmetro. Depois, compare os resultados obtidos com os dos demais alunos de sua classe. Aguarde a correção e a discussão que serão feitas pelo seu professor.



A origem do nome *quark*

Em 1963, o cientista Murray Gell-Mann atribuiu o nome *quark* aos constituintes fundamentais dos núcleons. Em seu livro *O quark e o jaguar: aventuras no simples e no complexo*, ele conta que, antes de a palavra ter grafia, já imaginava sua sonoridade, que deveria ser algo como *kwork*. Então, em uma de suas olhadelas no livro *Finnegans Wake*, de James Joyce, deparou-se com a palavra *quark* na frase *Three quarks for Muster Mark*, que, evidentemente, foi bolada para rimar, e significa “Três quarks ao Senhor Mark”. A frase é particularmente interessante já que contém a palavra *quark*, cuja pronúncia é parecida com o que Gell-Mann procurava (*kwork*), e ainda de quebra tinha o termo “três”, mesma quantidade de *quarks* que compõem prótons e nêutrons. Entre outras coisas, a palavra *quark* reproduz o “pio da gaivota”, segundo o próprio Gell-Mann. Toda essa história é contada na página 194 da versão em português, de 1996, do livro dele. (GELL-MANN, Murray. *O quark e o jaguar: aventuras no simples e no complexo*. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.)



Leitura e Análise de Texto

Léptons e *quarks*: os constituintes básicos de todo o Universo

A Física de Partículas Elementares, ao estudar o núcleo dos átomos, revelou um “segredo” profundo da natureza: os prótons e os nêutrons não eram partículas verdadeiramente elementares. Mas, com isso, surgiu uma quantidade enorme de partículas e foram criadas diversas formas de organizá-las em famílias, grupos etc.

Classificação das partículas elementares

As partículas fundamentais podem ser separadas em três grupos chamados coletivamente de léptons, hádrons, formados por *quarks*, e os mediadores desses dois grupos. Todas essas partículas fundamentais possuem antipartículas que também são consideradas fundamentais. A classificação delas nesses grupos é feita de acordo com características que elas possuem.

Lépton

Partícula elementar que não interage por meio da força forte. Segundo o modelo padrão, há seis tipos de lépton.

| Nome do lépton | Carga elétrica | Tempo de vida (em segundos) |
|---------------------|----------------|-----------------------------|
| Elétron | -1 | infinito |
| Neutrino do elétron | 0 | infinito |
| Múon | -1 | $2,197 \times 10^{-6}$ |
| Neutrino do múon | 0 | infinito |
| Tau | -1 | $3,3 \times 10^{-13}$ |
| Neutrino do tau | 0 | infinito |

Hádrons, formados por *quarks*

Praticamente todas as partículas que mencionamos ao longo do Caderno e que não eram léptons são hádrons formados por *quarks*. A tabela da página 26 apresenta algumas delas. Por exemplo, um próton é constituído por um *quark down* e dois *quarks up*. Dizemos então que o próton tem a estrutura uud. Um nêutron é formado por um *quark up* e dois *quarks down*. Portanto, os nêutrons têm a estrutura udd. Há uma grande surpresa nisso tudo. Embora estejam listados seis tipos básicos de *quark*, o Universo, como o conhecemos hoje, ou seja, para o estado de energia atual, é formado simplesmente pelos *quarks* dos tipos *u* e *d*! As outras partículas, formadas por *quarks* dos tipos *s*, *c*, *b* e *t*, só existiram no Universo mais primordial quando a temperatura (e, portanto, a energia) era muito mais alta. Essas partículas hoje só surgem em experiências realizadas nos grandes aceleradores de partículas que existem em laboratórios como o Cern, na Suíça, o FermiLab, nos Estados Unidos, ou o Desy, na Alemanha.

Partículas mediadoras

São partículas mediadoras dos vários processos físicos que ocorrem no interior da matéria. Elas também são partículas fundamentais e assumem importante papel no estudo das interações fundamentais.

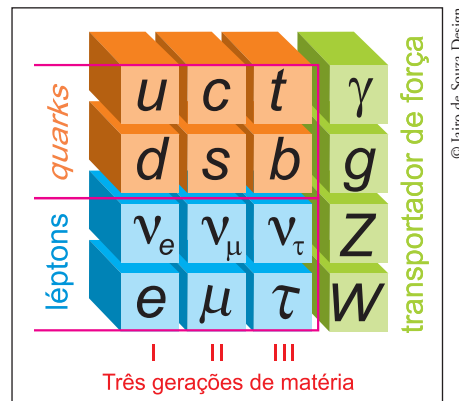
| Mediador | Símbolo | Carga elétrica | Tempo de vida |
|-----------------------|----------|----------------|---------------|
| Glúon | g | 0 | infinito |
| Fóton | γ | 0 | infinito |
| Bósons intermediários | W^\pm | ± 1 | desconhecido |
| | Z^0 | 0 | desconhecido |

Classificação das partículas elementares nucleares

O núcleo atômico é muito mais complexo do que um simples aglomerado de prótons e nêutrons. Aliás, damos o nome genérico de núcleons aos prótons e aos nêutrons.

Experiências realizadas com raios cósmicos e em laboratórios de altas energias mostraram a existência de muitas outras partículas, algumas muito pesadas, no interior do núcleo atômico. A descoberta dessas partículas é que conduziu os físicos a acreditar na existência dos *quarks* como os constituintes básicos das partículas nucleares. As partículas que estão no interior do núcleo atômico são hádrons.

Tendo em vista propriedades comuns entre várias dessas partículas, os físicos as classificaram em duas famílias, chamadas mésons e bárions. Todos os mésons e bárions são formados por *quarks*, embora de modos diferentes. Mésons e bárions são hádrons.



Adaptado de Observatório Nacional (ON).

Disponível em: <http://www.on.br/certificados/ens_dist_2008/site/conteudo/modulo3/9-forcas/particulas.html>. Acesso em: 26 jun. 2010.



Desafio!

Você aprendeu que prótons e nêutrons são constituídos de partículas elementares chamadas *quarks*: os *quarks up* (u) e *down* (d). O próton é constituído de três *quarks*: dois do tipo u e um do tipo d . O nêutron também é constituído de três *quarks*: dois do tipo d e um do tipo u . Sabendo que a carga elétrica do próton é igual a uma unidade de carga e a do nêutron, igual a zero, deduza as cargas elétricas de u e d .



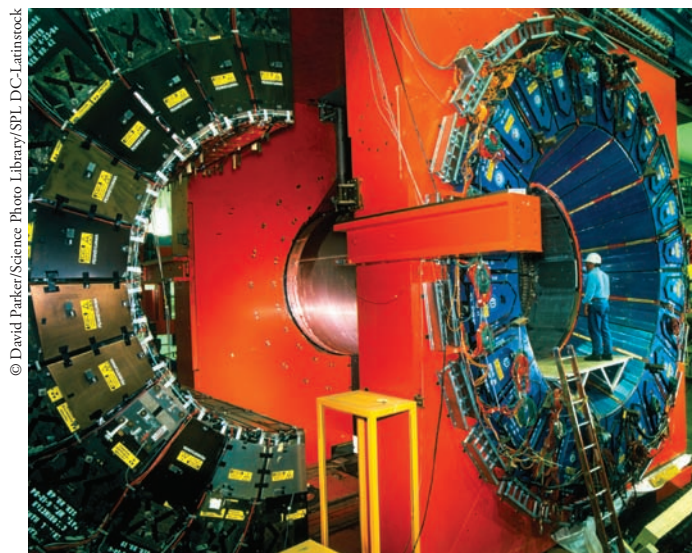
LIÇÃO DE CASA



No estudo dos raios cósmicos, são observadas partículas chamadas píons. Considere um pión com carga elétrica e^+ se desintegrando (isto é, se dividindo) em duas outras partículas: um múon com carga elétrica e^+ e um neutrino. De acordo com o princípio da conservação da carga, qual carga elétrica o neutrino deverá ter?



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 6 ACELERADORES DE PARTÍCULAS: NOVAS PERSPECTIVAS PARA O CONHECIMENTO



No ano de 2008, entrou em operação o LHC, sigla em inglês para Grande Colisor de Hádrons, um acelerador de partículas que foi projetado para atingir energias enormes e realizar experiências que ajudarão a explicar algumas questões ainda em aberto sobre as partículas elementares. Por meio da pesquisa e da leitura de textos de divulgação científica, você entrará em contato com esta nova fase de desenvolvimento da Ciência.

Novas descobertas em aceleradores de partículas

A Física já respondeu a todas as questões sobre como a matéria se comporta? A resposta, claramente, é não. Muitos cientistas buscam respostas para questões que ainda estão em aberto. Você sabe quais são essas questões? Você sabe como os cientistas têm trabalhado para resolvê-las? Nesta Situação de Aprendizagem, descobriremos isso por meio da pesquisa e da leitura de notícias recentes sobre o desenvolvimento da Ciência.



Opções de texto

A seguir temos uma lista de textos que tratam de experimentos em aceleradores de partículas. Essa lista pode ser ampliada por uma pesquisa em revistas, jornais e portais eletrônicos de universidades e institutos de pesquisa. Consulte seu professor.

Acessos em: 25 jun. 2010.

- LHC: o colosso criador e esmagador de matéria, publicado na revista *Ciência Hoje* em abril de 2008. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/revista-ch-2008/247/o-colosso-criador-e-esmagador-de-materia>>.

- Brasileiros no LHC tentam confirmar previsão de Lattes, *Folha Online*, sexta-feira, 6 abr. 2009. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u389472.shtml>>.
- A máquina do fim do mundo, revista *Veja*, 9 abr. 2008. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/090408/p_086.shtml>.
- Ponto de encontro, revista *Pesquisa Fapesp*, maio 2008. Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3513&bd=1&pg=1>>.
- Um olhar sobre o início de tudo. Especial da revista *Veja*, 25 jun. 2008. p. 73.
- Uma máquina de descobertas, artigo publicado na revista *Scientific American Brasil* em março de 2008.

Você receberá de seu professor indicações precisas sobre a escolha, a leitura e a interpretação desses textos. Em seguida, responda às questões.

1. Você reconheceu alguma das ideias discutidas neste Caderno na(s) reportagem(ns) lida(s)? Em caso positivo, quais ideias?

2. O que é um acelerador de partículas? Quais tipos de acelerador existem?

3. A quais questões os cientistas que trabalham nesses aceleradores buscam responder?

4. Quantas vezes o LHC é mais energético do que o ciclotron descrito na Situação de Aprendizagem 2?



APRENDENDO A APRENDER

Meios de obter partículas aceleradas: raios cósmicos e aceleradores

Para estudar a estrutura íntima da matéria, é preciso usar partículas que colidam com ela. Até 1910, a radiação mais penetrante conhecida eram os raios gama, que chegavam a atravessar espessuras de até 5 cm de chumbo. Os raios cósmicos os substituíram e conseguiram atravessar com facilidade 10 cm de chumbo. Essa radiação consistia basicamente em fragmentos microscópicos de corpos celestes (Sol, explosões de estrelas etc.) eletricamente carregados e com alta energia. Ela foi usada nos primeiros estudos de Física de Partículas Elementares. Os raios cósmicos foram, então, substituídos por feixes de partículas acelerados por máquinas de grande porte em condições de maior controle.

Os conceitos básicos necessários para acelerar uma partícula são dois: (a) uma partícula carregada é acelerada por meio de um campo elétrico e (b) curvada por um campo magnético. As máquinas que fazem isso são chamadas aceleradores de partículas.

Por mais incrível que possa parecer, a maioria de nós tem (ou tinha, antes da televisão de tela plana) um acelerador de partículas em casa! A conhecida “televisão de tubo” tem, basicamente, as mesmas características de um acelerador de partículas: elétrons são liberados pelo aquecimento de um filamento, acelerados por um campo elétrico, colimados por um campo magnético e, por fim, atingem a tela produzindo uma imagem.

Um componente básico de qualquer acelerador é a fonte de íons, e a maneira mais fácil de produzi-los é ionizar átomos de hidrogênio. Esse feixe é injetado em um acelerador que pode ser de dois tipos: linear e circular. No Brasil, há aceleradores lineares no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), localizado no Rio de Janeiro, no departamento de Física Nuclear do Instituto de Física da USP e em muitos hospitais. Os aceleradores circulares são conhecidos também como ciclotrons e podem ser encontrados no Instituto de Energia Nuclear (IEN) e no Instituto de Pesquisas Nucleares (Ipen), respectivamente nas cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo.

Vamos acelerar uma partícula elementar? O endereço a seguir permite que você acesse uma simulação do processo que ocorre em aceleradores lineares.

Procedimento:

Acesse o *site*: <<http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/LHCGame/LHCGame.html>>. Há opções em quatro línguas, mas a escolha não interfere. Apenas pule as instruções clicando na seta até chegar à etapa 1 do jogo.

Depois da seleção do idioma, vão aparecer na tela uma partícula carregada e uma região com uma diferença de potencial (ddp). Com um alternador, você terá que ir modificando os polos para que a ddp provoque a aceleração das partículas. Assim que você conseguir atingir a energia desejada, a simulação termina.



VOCÊ APRENDEU?



1. Se você entendeu o funcionamento de um acelerador linear, responda: por que eles são mais fáceis de ser construídos para alcançar altíssimas energias do que os circulares?

2. Qual a diferença entre aceleradores lineares e aceleradores em ciclos? Quais são as vantagens e as desvantagens de cada um deles?

3. Por que é necessário construir aceleradores cada vez maiores?



LIÇÃO DE CASA



(Fuvest – 2009) Com o objetivo de criar novas partículas, a partir de colisões entre prótons, está sendo desenvolvido no Cern (Centro Europeu de Pesquisas Nucleares) um grande acelerador (LHC). Por meio de um conjunto de ímãs, feixes de prótons são mantidos em órbita circular no LHC, com velocidades muito próximas à velocidade da luz no vácuo. Os feixes percorrem longos tubos, que juntos formam uma circunferência de 27 km de comprimento, onde é feito vácuo. Um desses feixes contém $N = 3,0 \times 10^{14}$ prótons, distribuídos uniformemente ao longo dos tubos, e cada próton tem uma energia cinética E de $7,0 \times 10^{12}$ eV. Os prótons repassam inúmeras vezes por cada ponto de sua órbita, estabelecendo, dessa forma, uma corrente elétrica no interior dos tubos. Analisando a operação desse sistema, estime:

- A energia cinética total E_c , em Joules, do conjunto de prótons contidos no feixe.
- A velocidade V , em km/h, de um trem de 400 toneladas que teria energia cinética equivalente à energia do conjunto de prótons contidos no feixe.
- A corrente elétrica I , em ampères, que os prótons em movimento estabelecem no interior do tubo onde há vácuo.

Note e adote!

q = Carga elétrica de um próton = $1,6 \times 10^{-19}$ C

c = $3,0 \times 10^8$ m/s

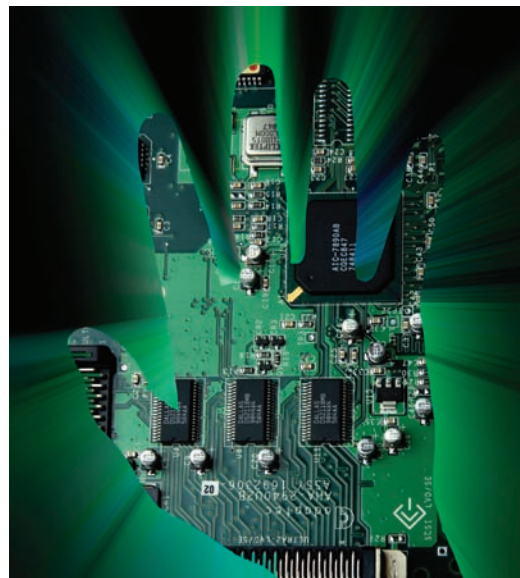
1 elétron-volt = 1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J

Atenção! Não utilize expressões envolvendo a massa do próton, pois, como os prótons estão a velocidades próximas à da luz, os resultados seriam incorretos, uma vez que sua massa inercial cresce com a velocidade.

TEMA 2:

MICROELETRÔNICA E INFORMÁTICA

Os hábitos humanos mudaram muito com o uso dos atuais equipamentos eletrônicos. A facilidade em obter e trocar informações trouxe nova dinâmica à nossa maneira de viver. Diariamente utilizamos termos como *bits* e *bytes*, que raramente compreendemos. Hoje em dia, a discussão sobre a TV digital está presente na mídia, e importantes decisões relacionadas às formas de comunicação têm sido tomadas. Em face dessa realidade, passaremos a discutir o conhecimento científico relacionado a tais questões.



© Victor de Schwanberg/Science Photo Library/SPL DC-Latinstock

Placa de circuito eletrônico.

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 7
OS MEIOS DE COMUNICAÇÃO

Hoje as sociedades têm utilizado extensamente as tecnologias com base em informática e eletrônica. Por isso, é comum em nosso dia a dia falarmos em sistemas analógicos e digitais etc., mas nem sempre compreendemos o significado desses termos. Por isso, essa atividade vai propor uma abordagem simples do tema.

A comunicação digital

Conversando em sala de aula

Você já deve ter conversado de muitas maneiras diferentes com alguém que mora longe de sua casa: por meio de telefone fixo ou celular, de um computador etc. Atualmente, é comum passarmos muito tempo utilizando esses aparelhos para conversar ou enviar mensagens. Mas você saberia explicar como uma mensagem pode sair de um lugar e chegar a outro? Discutiremos esse assunto nesta aula.



© David Parker/Science Photo Library/SPL DC-Latinstock

Comunicação ao longo da história.

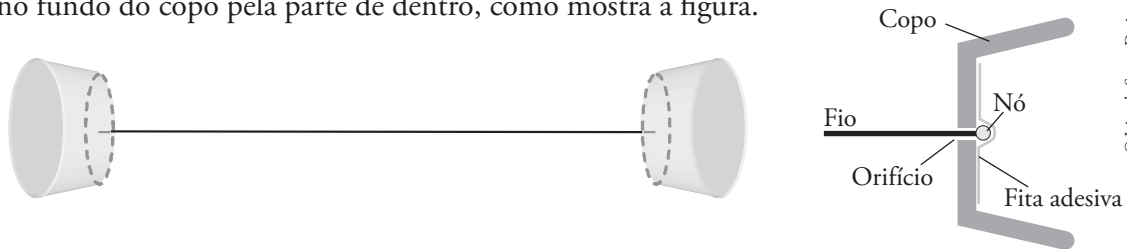


ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO

Esta atividade será realizada em duas etapas:

Parte 1 – Mãos à obra!

Pegue dois copos de plástico e faça um furo bem pequeno no fundo de cada um deles. Passe a ponta de uma linha de pesca ou outra similar, dê um nó e cole o fio com fita adesiva no fundo do copo pela parte de dentro, como mostra a figura.



© Jairo de Souza Design

Pronto! Você já tem em mãos um tipo de telefone. Para conversar, basta manter o fio bem esticado. Quem for falar deve aproximar bem a boca de um dos copos e quem for ouvir deve aproximar o ouvido do outro copo.

Aproveite a conversa e discuta com seus colegas as seguintes questões:

1. O que é o som? Como ele se propaga?

2. Como é possível vocês se comunicarem com esse “telefone”?

3. Por que o fio deve estar bastante esticado e o furo no copo deve ser bem pequeno para o telefone funcionar?

Parte 2 – Desafio!

Agora vamos a um desafio. Seria possível se comunicar através desse fio de uma forma diferente da proposta na atividade? Faça hipóteses sobre como isso poderia ocorrer e as teste para verificar sua funcionalidade. Lembre-se de que a comunicação não se resume a falas.

**Leitura e Análise de Texto****Analógica x digital**

Maurício Pietrocola

Você já deve ter ouvido falar de “mundo digital”. Para muitos, a digitalização é a responsável pela transformação do modo de vida moderno. Mas o que há de especial em ser “digital”? A primeira coisa que vem em mente quando pensamos nesse termo são as “impressões digitais”. Mas, além disso, podemos lembrar também que a maioria das calculadoras tem oito dígitos (que são a sequência máxima de algarismos que aparecem no visor). A grande revolução foi causada pela digitalização da informação. Ou seja, palavras, frases, imagens, sons foram transformados em códigos que podem ser facilmente transmitidos.

A revolução nas comunicações começou com a invenção do telégrafo e tomou proporções enormes com o advento da informática nas décadas de 1950 e 1960. O que diferencia a comunicação digital da analógica é que, na última, o princípio básico é a transmissão de oscilações que têm características semelhantes às da onda que as produziu. Essa transmissão pode ser por meio de ondas eletromagnéticas, ondas mecânicas ou mesmo na forma de oscilações de correntes alternadas em um fio. Assim, a onda sonora é transformada em outro tipo de onda, que tem maior alcance na transmissão e é retransformada em som na recepção.

Já na comunicação digital, o princípio básico é a decodificação de uma informação em um código binário e a transmissão dessa informação por meio de pulso ou sinais de dois tipos que são recodificados no fim do processo. Algo interessante de notar é que, na transmissão analógica, um pequeno “abalo” na oscilação que está sendo transmitida pode modificar algumas de suas características (a diminuição na amplitude da onda em um ponto, por exemplo) e isso se torna um ruído na transmissão. Já no caso da transmissão digital, como o processo se resume a dois tipos de sinal, que geralmente são bem distintos, um pequeno problema de transmissão não abala a comunicação, pois a natureza da informação se preserva.

Elaborado especialmente para o *São Paulo faz escola*.

- Com base no texto, responda: quais as vantagens e as desvantagens do uso de transmissões analógicas e digitais?

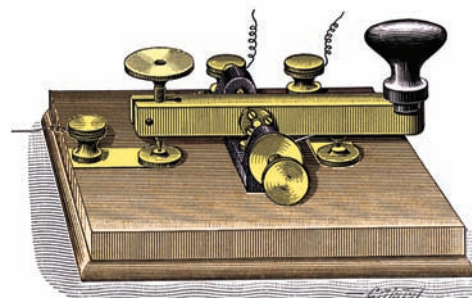


Leitura e Análise de Texto

Telégrafo

Além do código que leva seu nome, Morse também foi responsável pela invenção do telégrafo, um aparelho simples que usava uma bateria, um interruptor e um pequeno eletroímã. A comercialização do telégrafo espalhou a tecnologia rapidamente. A primeira grande obra ocorreu quando, nos anos 1860, o Estado da Califórnia foi ligado ao resto dos Estados Unidos. Em pouco tempo, regiões do mundo todo já estavam conectadas graças ao invento de Morse. No entanto, esse trabalho não foi fácil. Para tornar possível a ligação entre diferentes continentes, como a América e a Europa, foi necessário espalhar cabos pelo Oceano Atlântico. A tarefa exigia um enorme navio que suportasse a grande quantidade de cabos necessária para cruzar o Atlântico. Nessa época somente um navio foi capaz de realizar tal feito. É importante notar que o mundo se tornou conectado primeiro por fios, antes de ser conectado por trilhos, já que a estrada de ferro transcontinental não foi completada antes de 1869.

No Brasil, segundo Ildeu de Castro Moreira e Mauro Costa Silva, a implantação do telégrafo está ligada ao nome do mineiro Guilherme Schüch de Capanema (1824-1908), posteriormente Barão de Capanema, então professor de Física e Mineralogia da Escola Militar no Rio de Janeiro. Em maio de 1852, sob a sua direção, inaugurava-se a primeira linha telegráfica no Brasil, que ia da Quinta Imperial ao Quartel do Campo, no Rio, com três quilômetros de linha subterrânea. As ligações telegráficas entre as várias cidades da costa brasileira e do Brasil com a Europa foram realizadas em 1873 e 1874, respectivamente, por meio de cabos submarinos de companhias inglesas. Curiosamente, o grande físico inglês William Thomson (Lord Kelvin) e seu colega Fleming Jenkin eram engenheiros especialistas na colocação de cabos e supervisionaram a instalação do cabo entre Recife e Belém. Outro fato interessante foi a invenção, feita por Capanema, de um novo isolador para as linhas telegráficas terrestres. Devido às condições ambientais nos trópicos (calor e alta umidade) a deterioração rápida dos isoladores era um problema grave. Isso levou Capanema a inventar um novo tipo, todo feito de vidro, porcelana, ebonite etc., mas que não usava peças metálicas. A invenção recebeu a patente número 4171, em 1873, no Reino Unido. Esse isolador foi usado no Brasil, e temos a informação de Capanema de que teria sido usado também na grande linha telegráfica da Índia.



© Sheila Terry/Science Photo Library/SPL DC-Latinrock

Adaptado de MOREIRA, Ildeu de Castro; SILVA, Mauro Costa. Capanema: um professor de Física cria a telegrafia no Brasil. *Física na Escola*, v. 2, n. 2, 2001. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a07.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2010.

1. Cite uma vantagem da transmissão digital em relação à transmissão analógica.

2. Qual foi a solução criada por Capanema para evitar a deterioração das linhas telegráficas terrestres?



LIÇÃO DE CASA



1. Você já deve ter ouvido falar da expressão S.O.S., para indicar pedido de socorro. Pesquise o contexto de criação e uso desse termo.

2. Pesquise o que é a codificação MP3, usada na compactação de músicas. No que ela se diferencia da codificação *wave* original nos CDs de música?



SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 8 TRANSISTORES: O OUVIDO ELETRÔNICO

Nas aulas anteriores, foram discutidas duas formas de comunicação, uma baseada em ondas (analogica) e outra baseada em códigos (digital). No entanto, em ambas as formas, nossos sentidos são usados para detectar a informação, no caso a audição ou a visão. Uma questão que poderíamos formular é: como um computador identifica um sinal enviado a ele? Isto é, quais “sentidos” ele utiliza para se comunicar?

Para discutirmos como um equipamento eletrônico funciona, primeiro vamos lembrar alguns conceitos abordados ao longo deste ano letivo. No início do ano estudamos a eletricidade e aprendemos que circuitos elétricos estabelecem uma corrente elétrica, que consiste no movimento ordenado de elétrons em razão da presença de uma diferença de potencial (tensão). Quando a transmissão de eletricidade é feita a longas distâncias, a tensão utilizada é alternada, isto é, ela oscila no tempo durante a propagação ao longo do fio. Vimos na Situação de Aprendizagem anterior que algo que oscila pode transmitir informação por meio de suas características ondulatórias. Com isso, a eletricidade pode transmitir a informação da fala por longas distâncias (este é o princípio de comunicação de um microfone ligado a um amplificador, por exemplo). Para tornar esse processo viável, é necessário que algum dispositivo possa identificar essa informação elétrica no final da transmissão. Mas que dispositivo é esse?



Transistores.

Uma conversa eletrônica

Inicialmente eram utilizadas válvulas, que consistiam em placas metálicas dentro de um tubo de vidro sem ar que modificavam ou ampliavam a passagem de corrente. Esse dispositivo foi utilizado para a construção dos primeiros computadores. No entanto, ele era pouco eficiente, em razão de alguns motivos: aquecimento excessivo, fragilidade e tamanho relativamente grande. Uma revolução ocorreu quando três físicos norte-americanos, John Bardeen (1908-1991), Walter Brattain (1902-1987) e William Shockley (1910-1989), desenvolveram um dispositivo chamado transistor. Para explicar seu funcionamento, precisaremos voltar a discutir alguns elementos de Física Quântica.

Como estudamos anteriormente, os átomos têm seus elétrons distribuídos em camadas eletrônicas definidas. Quando os átomos se ligam para formar moléculas, dependendo de como isso é feito alguns elétrons da última camada eletrônica (chamada de banda de valência) podem estar presos às moléculas de forma muito intensa. Isso dificulta a movimentação do elétron, tornando o material um isolante que não conduz eletricidade. A ligação fraca entre os elétrons, por sua vez, possibilita a condução elétrica. No entanto, um terceiro caso pode ocorrer.

Existem materiais que, a princípio, não podem transmitir eletricidade; mas, ao sofrer alguma modificação, passam a poder fazê-lo – são chamados de semicondutores. O silício é um desses materiais. Esse elemento tem quatro elétrons em sua última camada. Em um cristal de silício puro, esses quatro elétrons participam ativamente da ligação. Então, não há elétrons disponíveis para conduzir eletricidade. O mesmo acontece com o germânio. No “escuro”, esses semicondutores são isolantes, mas conduzem eletricidade se expostos à luz de frequência suficientemente alta, pois alguns elétrons são alçados da banda de valência à banda de condução e, assim, passam a se comportar como condutores. No entanto, se “doparmos” o material puro de silício com átomos de arsênio, por exemplo, que têm cinco elétrons na última camada, um elétron sobrar e poderá conduzir eletricidade. Se, em vez de colocarmos o arsênio, optarmos por um elemento como o índio, que têm três elétrons na última camada, teremos uma região na qual faltará um elétron. Essa falta de elétrons também permitirá a condução elétrica, só que nesse caso a falta de elétrons será interpretada como uma corrente positiva. O processo pelo qual inserimos um elemento com um elétron a mais é chamado de dopagem tipo N (por ter um elemento a mais negativo) e o processo pelo qual inserimos um elemento com um elétron a menos é chamado de dopagem tipo P.

Um transistor consiste na junção de materiais semicondutores tipo P e tipo N. Para isso, devemos fazer um “sanduíche” com esses materiais. Por exemplo, podemos ter uma camada P, depois uma camada N e outra P, chamado de transistor PNP, ou podemos fazer o contrário, formando um transistor NPN. O que esse dispositivo tem de especial é o fato de, por meio desse processo de construção, permitir que controlemos muito bem a corrente que passa por ele.

O transistor é a unidade de funcionamento de qualquer *chip*. Em uma transmissão digital, ele identifica a passagem da corrente como um tipo de sinal e a não passagem como outro tipo de sinal; desse modo, recebe uma informação binária. Assim, é possível que o computador identifique o que é transmitido pela rede elétrica.

Agora, responda à questão:

- Como um computador identifica um sinal enviado a ele? De outro modo, de quais “sentidos” ele utiliza para se comunicar?

Linguagem binária

A princípio, qualquer informação analógica pode ser transformada em um sistema com dois sinais, como no caso do código Morse, que usa o traço e o ponto. Damos à linguagem escrita dessa forma o nome de linguagem binária. Em computação, isso é feito decodificando uma informação como uma sequência de zeros e uns (0 e 1). Os números decimais que conhecemos podem ser representados pela chamada representação BCD (*Binary Coded Decimal* ou Decimal Representado em Binário) da seguinte forma:

| | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 = 0000 | 1 = 0001 | 2 = 0010 | 3 = 0011 | 4 = 0100 |
| 5 = 0101 | 6 = 0110 | 7 = 0111 | 8 = 1000 | 9 = 1001 |

Tem-se que o número 735, por exemplo, é representado em BCD pelo conjunto:

$$\boxed{0111 \quad 0011 \quad 0101}$$

Um aspecto matemático interessante é que essa convenção se baseia na diferenciação da base potencial de um número. Um número representado na base 10 como estamos acostumados pode ser escrito da seguinte forma:

$$\begin{aligned} 735 &= (7 \times 10^2) + (3 \times 10^1) + (5 \times 10^0) \\ 15\,436 &= (1 \times 10^4) + (5 \times 10^3) + (4 \times 10^2) + (3 \times 10^1) + (6 \times 10^0) \end{aligned}$$

Os números representados na base binária seguem a mesma lógica, só que utilizando uma base 2. O código binário é sempre o fator que multiplica a base.

$$\begin{aligned} 3 &= 0011 = (0 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \\ 7 &= 0111 = (0 \times 2^3) + (1 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \\ 9 &= 1001 = (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \end{aligned}$$

Por meio desse código, podemos compor outros tipos de informação. Podemos, por exemplo, associar um número a cada letra, como a = 1, b = 2, c = 3 etc., e assim construir o alfabeto por meio do código binário.

- Escreva a data de seu nascimento (dia, mês e ano) em base 10 e em base 2. Em seguida, escreva-a em representação BCD.



VOCÊ APRENDEU?

▶

1. Explique qual o papel da dopagem na construção de um transistor.

2. Usando o exemplo de atribuir a cada letra do alfabeto um número (veja o texto sobre linguagem binária), escreva seu nome em representação BCD.



LIÇÃO DE CASA



1. Faça uma pesquisa ou peça instruções ao seu professor (de Física ou de Química) e procure diferenciar “banda de condução” de “banda de valência”.
2. Faça uma pesquisa na biblioteca de sua escola ou na internet e veja quantos transistores há em um *chip* de computador atual. Se puder, encontre informações de como esse número vem aumentando nos últimos 35 anos. (Busque por “Lei de Moore”.)

SITUAÇÃO DE APRENDIZAGEM 9
A INFORMAÇÃO E A TECNOLOGIA NA VIDA ATUAL

Nas últimas Situações de Aprendizagem, foram discutidas as formas de transmissão de informação e de gravação. Para encerrar este tema, propomos uma discussão sobre o impacto da informação e sua presença na vida cotidiana.

O mundo digital em nossas vidas

Você já teve problema para gravar um arquivo muito grande em um *pen drive*? Ou já percebeu que a maioria dos vídeos não cabe em CDs? E os disquetes, você conhece alguém que ainda os guarda? Qual a capacidade de cada um deles para armazenar informações? CDs, DVDs, disquetes e *pen drives* duram mais ou menos do que um livro de papel? Boa parte do que temos, como músicas, textos, filmes, está armazenada de forma virtual nesses equipamentos. Lidar com questões como essas é fundamental para um cidadão do mundo digital.

Os textos a seguir ajudam a compreender como se estimam a capacidade de armazenamento e o tempo de vida das mídias.



© Juca Martins/Olhar Imagem

Tecnologia e vida contemporânea.

**Leitura e Análise de Texto*****Bits e bytes***

Ivã Gurgel

A quantidade de *bits* de uma informação corresponde à quantidade de números zero e um de que precisamos para representá-la. Se algo é representado por uma sequência de três dígitos, como 010 ou 110, essa informação tem três *bits*. Se uma informação é representada por

um conjunto de cinco dígitos, como 10101 ou 11101, essa informação é de cinco *bits*. Então temos uma regra geral: o número de *bits* é a quantidade de casas (para escrever 0 e 1) necessárias para construir determinado código.

A representação do conjunto básico de símbolos, como letras, números, sinais matemáticos etc., exige que tais informações tenham oito casas. Assim, denominou-se o conjunto de oito *bits* como um *byte*. Veja a convenção a seguir:



© Collection Taxi/Getty Images

Produção de mídias.

| | |
|---|---|
| 1 <i>byte</i> (B) = 8 <i>bits</i> | 1 <i>gigabyte</i> (GB) = 2^{30} <i>bytes</i> = 1 073 741 824 <i>bytes</i> |
| 1 <i>kilobyte</i> (KB) = 2^{10} <i>bytes</i> = 1 024 <i>bytes</i> | 1 <i>terabyte</i> (TB) = 2^{40} <i>bytes</i> = 1 099 511 627 776 <i>bytes</i> |
| 1 <i>megabyte</i> (MB) = 2^{20} <i>bytes</i> = 1 048 576 <i>bytes</i> | 1 <i>petabyte</i> (PB) = 2^{50} <i>bytes</i> = 1 125 899 906 842 624 <i>bytes</i> |

Essa discussão é interessante, pois permite compreender o significado do termo *byte*, que é tão utilizado atualmente. Repare que *byte* é diferente de *bit* e, em geral, o primeiro é representado por um **B** maiúsculo, e o segundo, por um **b** minúsculo. Quando uma rede de internet tem uma velocidade de 1 MB (na verdade, 1 MB/s), isso significa que ela está transmitindo mais de 1 milhão de códigos por segundo.

Elaborado especialmente para o São Paulo faz escola.



Leitura e Análise de Texto

Tempo de vida das mídias

Maurício Pietrocola

Um disco gravável dura em média cinco anos se for bem cuidado e se a mídia for de boa qualidade. Não há escapatória. Após certo tempo o disco já não é mais lido, aparecem manchas que não desaparecem. Por ser orgânica, a camada de armazenamento se deteriora com facilidade. Suor, umidade, luz e até calor podem causar rápido desgaste. Os motivos da perda das informações são diversos: desde arranhões, mofo e descascamento da camada refletora da mídia até o fim da vida útil do disco, que, muitas vezes, não dura mais do que seis meses, embora, segundo os fabricantes, devesse permanecer muito mais tempo sem defeitos.

Elaborado especialmente para o São Paulo faz escola.

Após a leitura dos textos, discuta e responda às questões a seguir. Para isso, será necessário pesquisar para complementar as informações disponíveis nos textos.

1. Em média, quantas páginas escritas (em Word ou PDF) cabem em um HD de um computador moderno? Isso seria equivalente a quantos livros?

2. Quanto tempo dura um livro impresso bem cuidado? Quanto tempo duram os dispositivos eletrônicos de armazenamento de informação, como os CDs, *pen drives* e HDs?

3. Com base nas informações das questões anteriores, discuta o papel que a mídia digital tem em nossa vida atualmente e compare quais são as diferenças que ela traz em relação à vida de uma pessoa que, há alguns anos, não dispunha de computadores ou outros equipamentos eletrônicos.



Curiosidade!

Cientistas colocam Bíblia em *microchip*

Israelenses construíram *chip* menor do que a cabeça de uma agulha, contendo todo o Velho Testamento da Bíblia hebraica.

Chip que contém o *Velho Testamento* em hebraico.



© Handout/Getty Images



VOCÊ APRENDEU?



1. Qual a diferença entre um processador de 32 *bits* e um de 64 *bits*? Explique qual a vantagem de trabalhar com processadores de 64 *bits*.

2. Liste as vantagens e as desvantagens das mídias digitais (CDs, DVDs etc.) e das mídias em papel (livros).

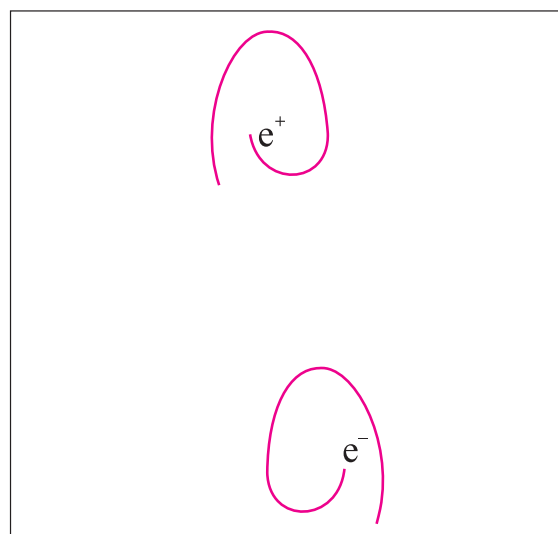
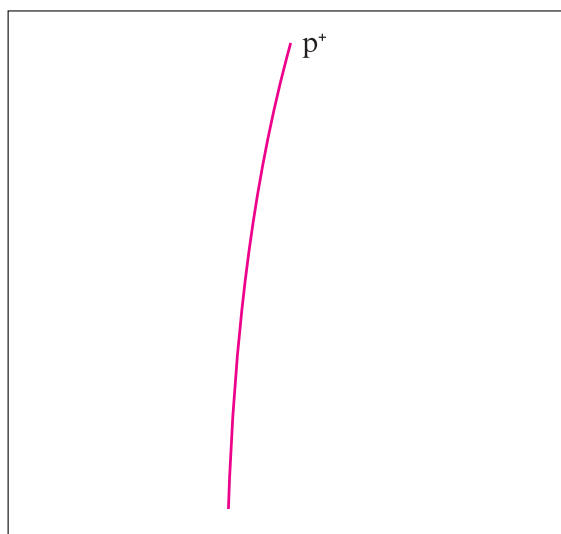


LIÇÃO DE CASA

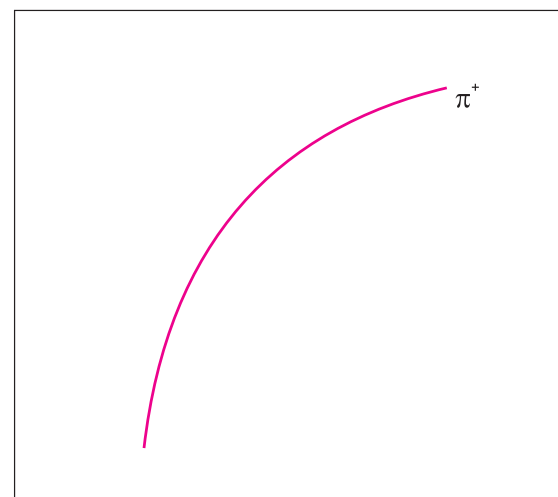
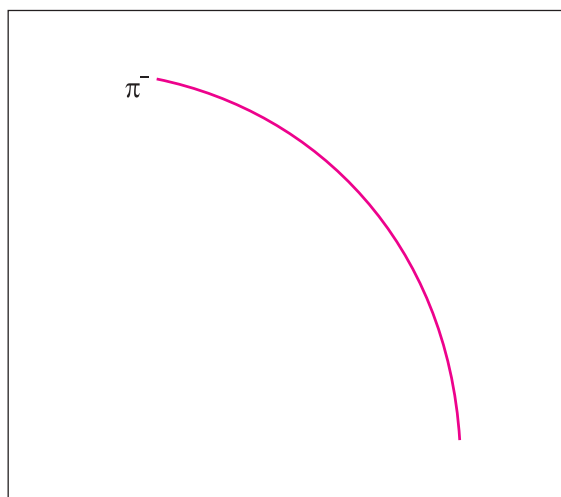
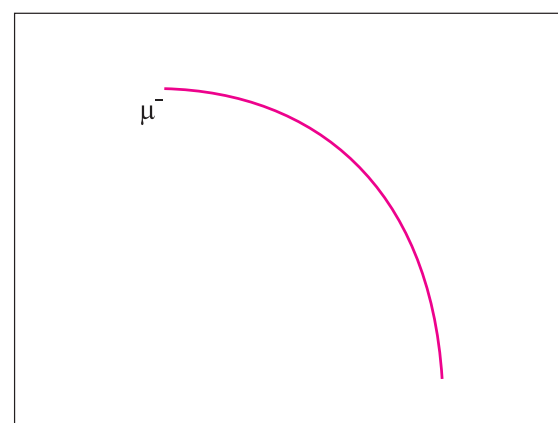
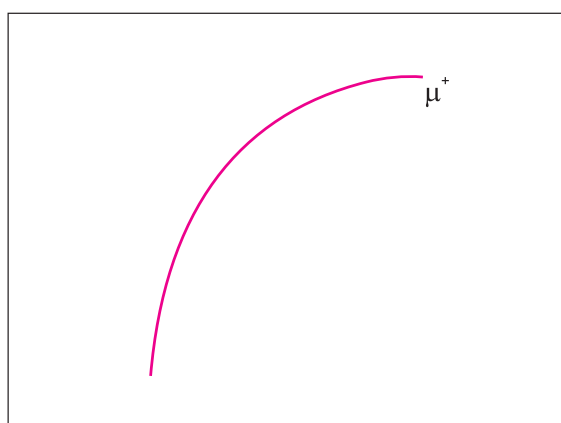


1. Quantos *gigabytes* são necessários para registrar uma hora de vídeo com qualidade comercial?
2. Pesquise na biblioteca de sua escola ou na internet qual o princípio de armazenamento nas seguintes mídias: disquete, CD, DVD, *pen drive*.

Figuras para a atividade proposta no Roteiro de Experimentação da Situação de Aprendizagem 3.



Gráficos: © Jairo de Souza Design



Partículas de referência, conjunto de seis trajetórias.

