

## LHC: o que é, para que serve e como funciona

Uma discussão presente de modo bastante atual na área de ensino de física está relacionada à importância da inserção de temas mais atuais de física nas aulas dessa disciplina no Ensino Médio [1,2].

Nesse sentido, sabemos que, em física, um dos maiores e mais importantes centros de pesquisa da atualidade é a Organização Européia para Pesquisa Nuclear, conhecida como CERN, onde se encontra o LHC (*Large Hadron Collider*, em português, *Grande Colisor de Hadrões*). Desse colisor podem vir importantes contribuições para a confirmação de teorias já existentes e/ou construção de outras no que diz respeito aos conhecimentos necessários para a compreensão tanto do mundo subatômico como da origem e formação do Universo.

### Objetivos

A partir dos cursos e visitas técnicas que realizamos no CERN por conta de nossa participação na *Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa 2010*, explicaremos o que é, para que serve e como funciona o LHC, além de descrevermos os experimentos que aí são realizados e o tipo de física que se faz a partir desse colisor. Pensamos ser esta uma forma de fazer chegar aos professores de física do Ensino Médio e, por intermédio deles, aos alunos, um pouco mais de conhecimento sobre o principal centro de pesquisa do mundo em física de partículas (ver Ref. [3]) na atualidade.

Devido à extensão deste artigo, não será possível realizar uma revisão de conhecimentos de física de partículas e do modelo padrão das partículas elementares,

necessários à completa compreensão dos assuntos aqui tratados. Contudo, sempre que citarmos algum aspecto dessas teorias, procuraremos informar, através de referências bibliográficas acessíveis a professores de Ensino Médio, fontes complementares de explicações sobre o tema.

### LHC: a física que dá sentido à sua construção e seus objetivos

Sabemos que as partículas que constituem a matéria e que são responsáveis por mediar as interações fundamentais da natureza são tão infinitamente pequenas que é impossível observá-las com um microscópio, pois suas dimensões são muito menores do que o comprimento de onda da luz visível. Essa explicação foi elaborada no início do século XX, quando

**Para estudar detalhes na escala de um bilhão de vezes menor que o visível, precisamos dar às partículas energias um bilhão de vezes maiores do que as energias típicas do mundo macroscópico. Este constitui o princípio básico de como um acelerador pode ser usado para medir o mundo subatômico**

descobriu-se que essas partículas em movimento podem se comportar como ondas em determinados experimentos (dualidade onda-partícula, ver Ref. [4]) e que os comprimentos de onda dessas partículas tornam-se menores com o aumento da energia. Isso significa que, para estudar detalhes na escala de um bilhão de vezes menor que o visível, precisamos dar às partículas energias um bilhão de vezes maiores do que as energias típicas do mundo macroscópico. Este constitui o princípio básico de como um acelerador pode ser usado para medir o mundo subatômico. Nessa escala de tamanho, “ver” significa detectar um sinal, observar um rastro luminoso, medir a energia. Assim, os aceleradores são usados para aumentar a energia das partículas antes da colisão e, desse modo, tornar os resultados visíveis indiretamente usando detectores.

As partículas são aceleradas no LHC

.....  
**Marta Maximo Pereira**

Centro Federal de Educação  
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca  
(CEFET/RJ), Unidade de Ensino  
Descentralizada de Nova Iguaçu  
Nova Iguaçu, RJ, Brasil  
E-mail: martamaximo@yahoo.com

.....

---

Este trabalho tem por objetivo explicar o que é, para que serve e como funciona o LHC (Grande Colisor de Hádrons), assim como descrever os experimentos que aí são realizados e o tipo de física se faz a partir desse colisor. O LHC situa-se no CERN (Organização Européia para Pesquisa Nuclear), um dos maiores e mais respeitados centros de pesquisa do mundo em física na atualidade. Este artigo é fruto de nossa participação na *Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa 2010*, realizada com a participação de professores de Ensino Secundário de Portugal, Cabo Verde, Moçambique e São Tomé e Príncipe e de professores brasileiros do Ensino Médio. Pretendemos esclarecer questões de interesse sobre o LHC, a fim de auxiliar na formação de docentes em física contemporânea e de possibilitar que, por meio deles, a física do século XXI chegue aos alunos de Ensino Médio não só pelos meios de comunicação de massa, mas na forma de conhecimento cientificamente construído em sociedade.

com velocidades que correspondem a cerca de 99,9999991% da velocidade da luz no vácuo. Fenômenos que ocorrem nessa magnitude de velocidade são explicados pela relatividade especial de Einstein (ver Ref. [4]), segundo a qual tempo e espaço não são absolutos, ou seja, a medida de cada uma dessas grandezas é diferente quando realizada em dois referenciais distintos. Uma das implicações desse fato é o fenômeno da dilatação temporal: quando algo se move com velocidade próxima à da luz, seu tempo parece passar mais devagar. Este efeito é desprezível em velocidades cotidianas, mas, para uma partícula viajando quase à velocidade da luz, o tempo passa devagar o suficiente para que ela vá muito mais longe do que era esperado e possa ser detectada.

Os aceleradores impulsionam feixes de partículas a altas energias antes que eles colidam uns com os outros ou com alvos estacionários. As partículas resultantes de um evento de colisão deixam um rastro e depositam energia em um detector. O estudo dessas colisões é o principal objetivo do LHC, que foi projetado para encontrar evidências que permitam esclarecer as seguintes questões:

- a) A origem da massa das partículas elementares (ver *bóson de Higgs* na Ref. [5]);
- b) A expansão acelerada do universo (ver *energia escura* na Ref. [6]);
- c) A discrepância entre as medidas de massa de galáxias, aglomerados de galáxias e de todo o universo feitas com instrumentos e medições com base na massa da matéria visível que estes objetos contêm (ver *matéria escura* nas Refs. [5-6]);
- d) A existência de supersimetrias (ver Ref. [7]).

### **LHC: estrutura geral e funcionamento**

O LHC foi construído no CERN com o objetivo de possibilitar que colisões entre partículas aconteçam a energias extremamente elevadas, nunca antes atingidas pelos colisores que até então existiam. Ele se situa em um túnel circular de 27 km de circunferência a cerca de 50 a 75 m abaixo do solo, na fronteira entre a França e a Suíça. O LHC foi projetado especificamente para colidir dois feixes de prótons um contra o outro ou dois feixes de íons pesados um contra o outro.

As colisões próton-próton estão previstas para que aconteçam em uma energia máxima de 7 TeV por feixe. Em 30 de março de 2010 ocorreram as primeiras colisões com energia igual a 3,5 TeV por feixe [8]. Tais feixes se movem dentro do anel do LHC guiados por ímãs, que geram

um campo magnético capaz de alterar a trajetória do feixe, encurvando-o e fazendo-o percorrer toda a circunferência do anel. Esses ímãs são supercondutores à baixa temperatura, assim como os cabos por onde circula a corrente, a qual flui praticamente sem nenhuma resistência. Por isso, todo o anel do LHC é refrigerado por um grande sistema de criogenia a uma temperatura próxima a 4,5 K [9].

Como a dissipação é praticamente nula por conta da baixíssima temperatura em que o LHC se encontra, os feixes são armazenados a altas energias por horas. Alguns bilhões de prótons, cada um deles com velocidade igual a 99,9999991% da velocidade da luz, percorrem o anel do LHC 11000 vezes por segundo, gerando um bilhão de colisões por segundo e recriando, em pequena escala, as condições de uma fração de segundo após o *big bang*, a fim de que se possa compreender por

que o Universo é como hoje se apresenta.

### **LHC: aceleradores e principais experimentos**

Para acelerar as partículas antes da colisão, há no LHC aceleradores do tipo LINAC (*Linear Particle Accelerator*, em português, *Acelerador de Partículas Linear*), que, como seu nome indica, acelera as partículas de modo retilíneo, e também o PS (*Proton Synchrotron*, em português, *Síncrotron de Prótons*), que aumenta a velocidade de partículas subatômicas eletricamente carregadas ou íons de forma que descrevam uma trajetória circular ao serem aceleradas (veja as Figs. 1 e 2, respectivamente).

Para investigar os objetivos de pesquisa do LHC, há atualmente quatro experiências principais em funcionamento, a saber: ATLAS, CMS, LHCb e ALICE. A seguir explicaremos em que consiste cada uma delas.



Figura 1 - Foto do LINAC 2 (Acelerador de Partículas Linear).



Figura 2 - Foto do PS (Síncrotron de Prótons).

ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*, em português, *Experiência do Grande Colisor de Íons*) é um detector construído para o estudo da colisão entre íons pesados (veja a Fig. 3). Colisões de núcleos de chumbo são estudadas com energia do centro de massa de 2,76 TeV por núcleo. Além disso, pretende-se que sejam estudados também os hádrons, elétrons, múons e fótons [5] produzidos nas colisões dos íons pesados. Espera-se que a temperatura resultante e a densidade de energia após as colisões sejam grandes o suficiente para gerar o plasma de quarks e glúons, uma fase da matéria em que quarks (partículas elementares que formam, por exemplo, os prótons e nêutrons) e glúons (partículas mediadoras da interação forte, ver Ref. [10]) estão confinados. A existência dessa fase e suas propriedades são fundamentais para o desenvolvimento da *cro-modinâmica quântica* (QCD, sigla em inglês para *Quantum Chromodynamics* [5]), teoria que explica a interação forte (interação que mantém prótons e nêutrons dentro do núcleo atômico [11]).

ATLAS (*A Toroidal LHC ApparatuS*, em português, *Aparato Toroidal do LHC*) é um detector onde feixes de prótons colidem com energia do centro de massa de até 7 TeV (veja a Fig. 4). Os objetivos do detector ATLAS são: procurar o bóson de Higgs, partículas supersimétricas, dimensões extras e buracos negros; investigar por que a matéria do Universo é dominada por um tipo desconhecido de matéria, a matéria escura; redescobrir o quark



Figura 3 - Desenho esquemático do ALICE (em escala).

*top* e pela primeira vez estudá-lo com precisão; realizar medidas mais precisas para completar o modelo padrão, como as da massa e do tamanho do bóson *W* (uma das partículas mediadoras da interação fraca, ver Ref. [10]).

CMS (*Compact Muon Solenoid*, em português, *Solenóide Compacto de Múons*) é um detector de múons que permite também detecções de fótons, elétrons e hádrons e, pelas suas pequenas dimensões em comparação com o seu peso (daí o nome “compacto”), a identificação de neutrinos [5]. O solenóide do CMS é uma bobina de fio supercondutor que cria um campo magnético cerca de 100.000 vezes maior que o da Terra.

O detector do CMS atua como um grande filtro em forma de “cebola cilín-

drica” (veja a Fig. 5), pois é constituído de distintas camadas, cada uma projetada para parar e detectar os diferentes tipos de partículas mencionados acima, que podem emergir das colisões próton-próton e entre íons pesados. CMS foi projetado para medir propriedades de partículas previamente conhecidas com uma precisão sem precedentes e também está à procura de fenômenos completamente novos e imprevisíveis.

LHCb (*Large Hadron Collider beauty*), onde *beauty* se refere ao quark *bottom* (quark *b*), é um experimento desenvolvido para medidas precisas da violação de simetria CP (simetria de carga e paridade, ver Ref. [5]) e para o estudo de decaimentos raros de mésons com os quarks *b*

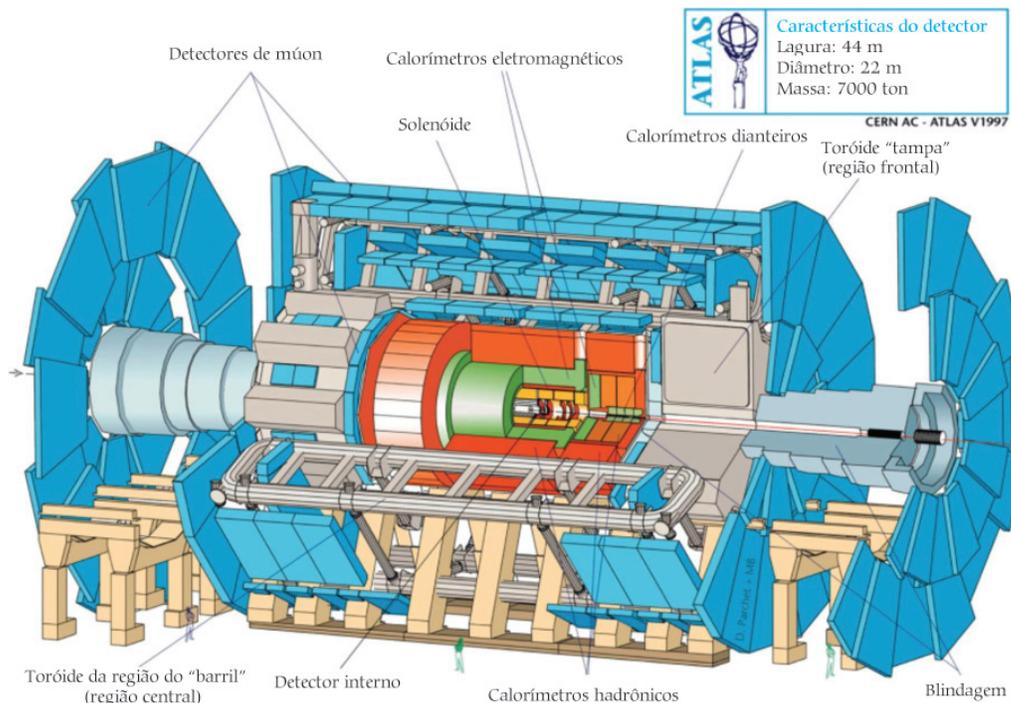
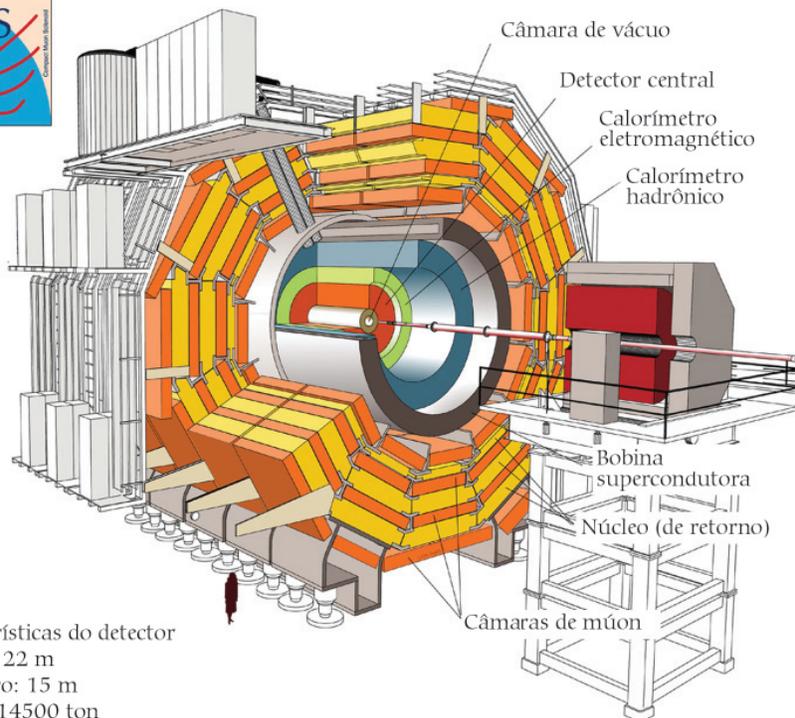


Figura 4 - Desenho esquemático do ATLAS (em escala).

e anti- $b$ , um conjunto conhecido por méson  $b$  [10]. Esse detector foi especificamente projetado (veja Fig. 6) para *recolher* estas partículas e o produto do seu decaimento. Ele estende-se por 20 m ao longo do tubo do LHC, com os seus subdetectores dispostos um ao lado do outro, diferentemente do CMS.

Cada um dos sub-detectores do LHCb é especializado na medição de uma característica diferente das partículas produzidas

pela colisão de prótons. Coletivamente, os componentes do detector são capazes de reunir informações sobre a identidade, a trajetória, o momento e a energia de cada partícula gerada e podem também identificar partículas individualmente entre as bilhões que emergem a partir do ponto de colisão [12]. Essa detecção pode ser feita considerando-se o fenômeno da dilatação temporal, consequência da relatividade especial de Einstein, confor-



Características do detector  
Largura: 22 m  
Diâmetro: 15 m  
Massa: 14500 ton

Figura 5 - Desenho esquemático do CMS (em escala).

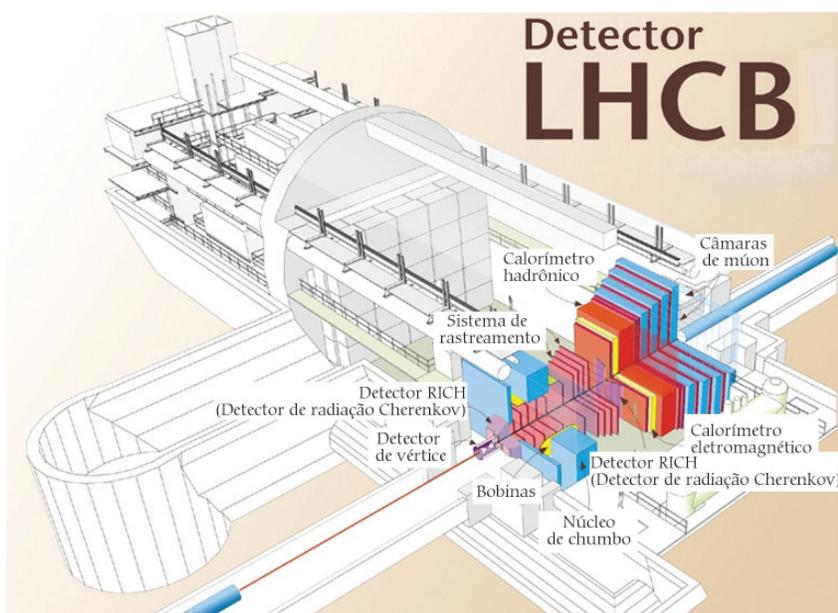


Figura 6 - Desenho esquemático do LHC-b (em escala).

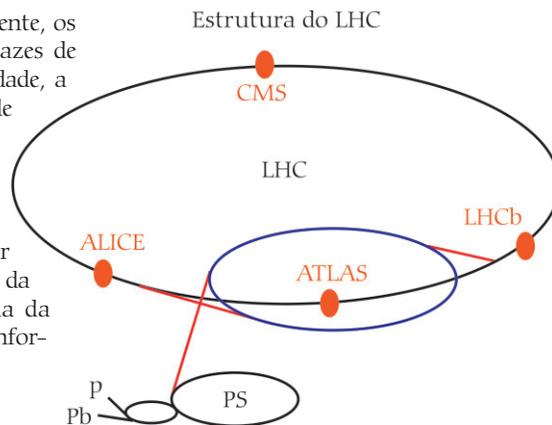


Figura 7 - Detectores e aceleradores ao longo do anel do LHC. Na imagem, p e Pb indicam os LINACS 2 e 3, respectivamente.

me explicado anteriormente neste trabalho. Esse efeito permite detectar o quark  $b$ , que se deteriora após apenas um picossegundo (um trilionésimo de segundo). A baixas velocidades, ele decai rapidamente e não viaja o bastante ao longo do detector para que possa ser observado. No entanto, quando acelerada até perto da velocidade da luz, a partícula percorre alguns milímetros extras, o suficiente para que o detector seja capaz de detectá-la.

Na Fig. 7, podemos observar a localização dos detectores e aceleradores ao longo do LHC.

### Conclusões

Os conhecimentos difundidos neste artigo sobre a estrutura e o funcionamento do LHC visam ajudar professores de Ensino Médio a terem contato com questões relativas à física contemporânea de forma mais acessível e próxima a sua realidade. Recomendamos fortemente que as referências de aprofundamento sugeridas sejam acessadas para uma maior compreensão dos temas aqui mencionados. Esperamos que este intrigante mundo da física de partículas seja apresentado pelo professor também aos estudantes de Ensino Médio, despertando neles o gosto e o interesse pela ciência.

### Agradecimentos

Agradecemos à Secretaria para Assuntos de Ensino da SBF (Sociedade Brasileira de Física), ao CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas), ao Departamento de Educação Básica da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao Departamento de Popularização e Difusão da Ciência e Tecnologia do MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia), sem os quais nossa ida ao CERN e, conseqüentemente, a escrita deste artigo, não teria sido possível.

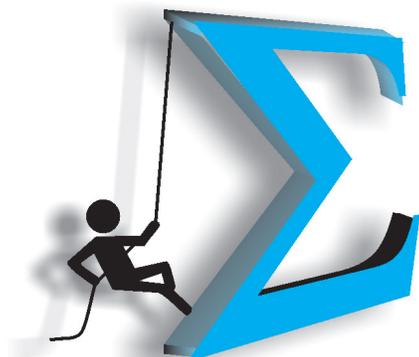
## Referências

- [1] M.D. Borges, F. Ostermann e M.A. Moreira, in: *Anais do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física* (Curitiba, 2003).
- [2] M.A. Monteiro e R. Nardi, in: *Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte, 2007).
- [3] M.C.B. Abdalla, *Física na Escola* **6**(1), 38 (2005).
- [4] M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica: Ótica Relatividade Física Quântica* (Edgard Blücher, São Paulo, 1998).
- [5] M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **31**, 10 (2009).
- [6] R. Rosenfeld, *Física na Escola* **6**(1), 31 (2005).
- [7] J. A. Helayël-Neto, *Física na Escola* **6**(1), 45 (2005).
- [8] <http://lhcb-machine-outreach.web.cern.ch/lhcb-machine-outreach/>, acesso em 2/10/2010.
- [9] <http://lhcb-machine-outreach.web.cern.ch/lhcb-machine-outreach/components/lhcb-manufacturing.htm>, acesso em 2/10/2010.
- [10] M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 161 (2007).
- [11] M.A. Moreira, *Física na Escola* **5**(2), 10 (2004).
- [12] <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/en/Detector/Detector-en.html>, acesso em 2/10/2010.
- ATLAS: <http://atlas.ch/>  
ALICE: <http://aliceinfo.cern.ch/Collaboration/index.html>  
CMS: <http://cms.web.cern.ch/cms/index.html>  
LHC-b: <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb/>  
Os desenhos esquemáticos dos experimentos deste artigo foram extraídos de <http://indico.cern.ch/getFile.py/access?contribId=12&resId=0&materialId=slides&confId=105483>, com tradução da autora.

## Trabalhos relacionados

- E. Gama e M.F. Barroso, *Física na Escola* **10**(2), 32 (2009).
- M. Maximo Pereira, in: *Anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física* (Manaus, 2011).

## Desafios

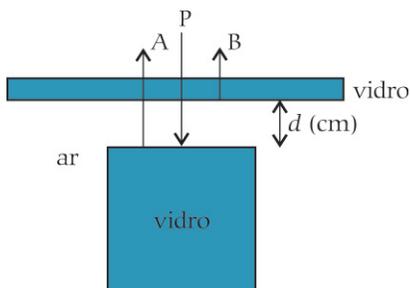


# Problemas Olímpicos

## Soluções dos problemas do número anterior

**1** Interferência construtiva em um sistema constituído por uma película fina de vidro mantida sobre um cubo de vidro com uma separação  $d$  entre eles quando atravessado por ondas eletromagnéticas.

Considere uma onda plana propagando na direção representada por P. Parte desta onda será transmitida pela lâmina, parte será refletida pela superfície do cubo (A) e parte refletida pela superfície inferior da lâmina (B).



Do princípio da reflexão, quando um feixe de luz é refletido na fronteira de separação de dois meios de baixa densidade e alta densidade, o feixe de luz reflete para o meio de baixa densidade com uma mudança de fase de  $180^\circ$ , correspondendo a uma distância de  $\lambda/2$ . Isso é o que acontece com o raio A, enquanto o raio B, que é refletido na superfície inferior da lâmina, não sofre qualquer mudança de fase. A condição para que o raio A refletido na superfície superior do cubo e o raio B refletido na superfície inferior da lâmina interfiram construtivamente é que ambos os raios tenham a mesma fase. Do diagrama, o raio A viaja uma distância de ida e volta de  $2d$  dentro da camada de ar. Ao atingir a superfície inferior da lâmina de vidro, este raio deve estar em fase com o raio B, ou seja  $2d = (2n_1 + 1)\lambda_1/2$ , sendo  $n_1$  um inteiro,  $n_1 = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Do problema,  $\lambda_1 = 0.4 \mu\text{m}$ , então  $2d = (2n_1 + 1)0.2$ . Para o segundo comprimento de onda,

$2d = (2n_2 + 1)\lambda_2/2$ ,  $n_2 = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Substituindo uma na outra, resulta

$$\lambda_2 = \frac{2n_1 + 1}{2n_2 + 1}$$

Com a informação dada pelo problema,  $0.2 < \lambda_2 < 1.15 \text{ mm}$ . Substituindo valores para  $n_1$  e  $n_2$  observamos que para  $n_1 = 2$  e  $n_2 = 1$  resulta em  $\lambda_2 = 0.67 \mu\text{m}$ , que satisfaz a condição imposta.

**2** Determinação da massa do átomo de hidrogênio a partir da estrutura cristalina do cloreto de sódio, NaCl, que tem estrutura cúbica de face centrada.

Cada átomo no vértice do cubo contribui com  $1/8$  de átomo, enquanto um átomo na face do cubo contribui com  $1/2$ . Assim, o número de átomos de Na em um cubo elementar será  $(1/8).8 + (1/2).6 = 4$  átomos de Na. Se  $m$  é a massa de um núcleo ou H, expresso em gramas, a densidade do cristal de NaCl será