

VIRTUAL LAB **Química**





VIRTUAL LAB Química

Tradução

Sônia Midori Yamamoto

PEARSON

© 2012 by Pearson Education do Brasil

Título original: *Virtual ChemLab – General Chemistry Laboratories v2.5*

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Pearson Education do Brasil.

Diretor editorial: Roger Trimer

Gerente editorial: Sabrina Cairo

Coordenadora de produção: Silvana Afonso

Editor: Sérgio Nascimento

Editor assistente: Marcos Guimarães

Preparação e revisão: Entrelinhas Serviços Gráficos Ltda.

Revisão técnica: José Victor de Abreu

Capa: Icaro de Abreu

Editoração eletrônica e diagramação: Globaltec Editorial & Marketing

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Woodfield, Brian F.

Virtual Lab Química : manual / Brian F. Woodfield, Steven Haderlie ; tradução Sônia Midori Yamamoto. -- São Paulo : Pearson Education do Brasil, 2012.

Título original: Virtual ChemLab.

ISBN 978-85-64574-18-2

1. Química - Livros didáticos 2. Química - Problemas, exercícios etc. I. Título.

11-08424

CDD-540

Índices para catálogo sistemático:

1. Química 540

2011

Direitos exclusivos para língua portuguesa cedidos à Pearson Education do Brasil, uma empresa do grupo Pearson Education

Avenida Santa Marina, 1193

CEP: 05036-001 — São Paulo - SP

Tel.: (11) 3821-3542

e-mail:

universidades.atendimento@pearson.com

Sumário

Introdução	ix
Entrada e saída do laboratório	ix
Almoxarifado das bancadas	x
Lixeiras	x
<i>Lab book</i>	xi
Monitor de TV	xi
Bancadas do laboratório	xii
Química inorgânica	xii
Química quântica	xii
Gases	xii
Titulação	xiii
Calorimetria	xiii
Atividades propostas	1
1. Teoria atômica	
1.1 Experimento de Thomson com tubo de raios catódicos	3
1.2 Experimento da gota de óleo de Millikan	7
1.3 Experimento de retroespalhamento (<i>backscattering</i>) de Rutherford	11
1.4 Investigando as propriedades de partículas alfa e beta	15
1.5 Radiação de corpo negro	19
1.6 Efeito fotoelétrico	23
1.7 A equação de Rydberg	27
1.8 Espectros de emissão atômica	31
1.9 Princípio da incerteza de Heisenberg	35
1.10 Espectros de emissão de sódio e mercúrio	39
2. Reações e estequiometria	
2.1 Nomes e fórmulas de compostos iônicos	41
2.2 Escrevendo reações de precipitação balanceadas	43
2.3 Eletrólitos fortes e fracos	45
2.4 Reações de precipitação	49
2.5 Contagem de átomos e moléculas (I)	53
2.6 Contagem de átomos e moléculas (II)	55
2.7 Contagem de átomos e moléculas (III)	57
2.8 Contagem de átomos e moléculas (IV)	59
2.9 Contagem de átomos e moléculas (V)	61
2.10 Contagem de prótons, nêutrons e elétrons (I)	63
2.11 Contagem de prótons, nêutrons e elétrons (II)	65
2.12 Criando uma solução de molalidade conhecida	67
2.13 Criando uma solução de molaridade conhecida	69
2.14 Convertendo concentrações para diferentes unidades	71

3. Termodinâmica

3.1 Endotérmico <i>versus</i> exotérmico.....	73
3.2 Entalpia de solução: NH_4NO_3	75
3.3 Calor específico do alumínio.....	79
3.4 Calor específico do chumbo.....	83
3.5 Calor de combustão: gordura de frango.....	87
3.6 Calor de combustão: açúcar.....	91
3.7 Calor de combustão: TNT.....	93
3.8 Calor de formação: etanol.....	95
3.9 Calor de formação: aspirina.....	99
3.10 Calor de reação: $\text{NaOH (aq)} + \text{HCl (aq)}$	101
3.11 Calor de reação: $\text{MgO (s)} + \text{HCl (aq)}$	103
3.12 Lei de Hess.....	105
3.13 Equilíbrio entre entalpia e entropia.....	111

4. Propriedades coligativas

4.1 Calor de fusão da água.....	115
4.2 Calor de vaporização da água.....	117
4.3 O ponto de ebulição da água em grandes altitudes.....	119
4.4 Elevação do ponto de ebulição.....	121
4.5 Diminuição do ponto de congelamento.....	123
4.6 Determinação da massa molar a partir da elevação do ponto de ebulição.....	125
4.7 Determinação da massa molar a partir da diminuição do ponto de congelamento.....	127
4.8 Mudanças no ponto de ebulição.....	129

5. Propriedades dos gases

5.1 Lei de Boyle: pressão e volume.....	131
5.2 Lei de Charles: temperatura e volume.....	135
5.3 Lei de Avogadro: mols e volume.....	137
5.4 Derivação da lei do gás ideal.....	139
5.5 Lei de Dalton sobre as pressões parciais.....	141
5.6 Gás ideal <i>versus</i> gás real.....	143
5.7 O efeito da massa sobre a pressão.....	147

6. Ácidos e bases

6.1 Classificação ácido-base de sais.....	149
6.2 Classificando soluções salinas de acordo com o pH.....	153
6.3 Conceitos em titulações ácido-base.....	157
6.4 Prevendo o ponto de equivalência (I).....	159
6.5 Prevendo o ponto de equivalência (II).....	161
6.6 Prevendo o ponto de equivalência (III).....	163
6.7 Constantes de ionização de ácidos fracos.....	165
6.8 Titulação ácido-base: prática.....	167
6.9 Titulação ácido-base: HCl desconhecido.....	169
6.10 Estudo de titulações ácido-base: ácidos monoproticos.....	171
6.11 Titulações ácido fraco-base forte.....	175
6.12 Titulações ácido forte-base fraca.....	177
6.13 Titulações ácido fraco-base fraca.....	179
6.14 Estudo de titulações ácido-base: ácidos poliproticos.....	181
6.15 Padronização ácido-base.....	185
6.16 Análise de bicarbonato de sódio.....	187

7. Eletroquímica	
7.1 Estudo de titulações de oxidorredução	189
7.2 Padronização de uma solução de permanganato	191
7.3 Análise de uma amostra de cloreto ferroso	195
8. Química descritiva	
8.1 Testes de chama para metais	199
8.2 Identificação de cátions em solução – testes de chama	203
8.3 Identificação de cátions em solução – Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+}	207
8.4 Identificação de cátions em solução – Co^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+}	211
8.5 Identificação de cátions em solução – Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}	215
8.6 Identificação de cátions em solução – Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+}	217
Atividades adicionais	219
Titulações	
1. Sais inertes	221
2. Gráficos de dados de titulação	223
3. Atividade química	225
4. Indicadores	227
5. Flutuabilidade	229
6. Calibração de vidraria	231
Propriedades dos gases	
7. Lei de Boyle: $1/\text{volume}$ versus pressão (I)	233
8. Lei de Boyle: $1/\text{volume}$ versus pressão (II)	235
9. Compressibilidade	237
10. Gases de Van der Waals (I)	239
11. Gases de Van der Waals (II)	241
Teoria atômica	
12. Thomson	245
13. Retroespalhamento de Rutherford	249
14. Efeito fotoelétrico (I)	253
15. Efeito fotoelétrico (II)	255
16. de Broglie (I)	257
17. de Broglie (II)	259
18. Absorbância do gás HCl	261
19. Absorbância do gás I_2	263
20. Absorbância da água	265
21. Espalhamento Raman	267

Introdução

Bem-vindo ao *Virtual ChemLab*, um conjunto de simulações realistas e sofisticadas abrangendo os principais recursos de um bom laboratório de química geral. Aqui os usuários são expostos a um ambiente virtual, no qual podem fazer escolhas e tomar decisões como se estivessem em um laboratório real e, então, com absoluta segurança, observar todas as consequências. O laboratório virtual possibilita simulações de análise qualitativa inorgânica, experiências fundamentais envolvendo química quântica, propriedades dos gases, titulação e calorimetria.

Entrada e saída do laboratório

Ao abrir o *Virtual ChemLab*, aparecerão na tela três portas: *Organic Chemistry Laboratory* (laboratório de química orgânica), *Stockroom* (almoxarifado) e *General Chemistry Laboratory* (laboratório de química geral). Contudo, nesta versão somente a porta de química geral poderá ser aberta.



O usuário tem duas opções para acessar as bancadas do laboratório:

- 1) Clicando na porta *General Chemistry Laboratory* e, em seguida, na bancada em que deseja trabalhar.
- 2) Clicando em *Workbook* e, em seguida, na atividade escolhida. Nesse caso, o programa abrirá a bancada na qual a atividade será desenvolvida, já com os recursos necessários disponibilizados e montados.

Para sair da bancada, basta clicar em **EXIT**.

Quando o usuário entra no *Virtual ChemLab* pela porta *General Chemistry Laboratory*, ele tem disponibilizadas cinco bancadas para desenvolver seus experimentos: química inorgânica (*Inorganic*), química quântica (*Quantum*), gases (*Gases*), titulação (*Titrations*) e calorimetria (*Calorimetry*).



Para retornar à tela inicial do *Virtual ChemLab* basta clicar em uma das duas saídas (EXIT).

Almoxarifado das bancadas

Em cada uma das bancadas do laboratório, atrás do balcão cor de laranja, está o almoxarifado (*Stockroom*), onde são disponibilizados instrumentos e substâncias que podem ser utilizados nos experimentos. Basta clicar na região para entrar no almoxarifado.



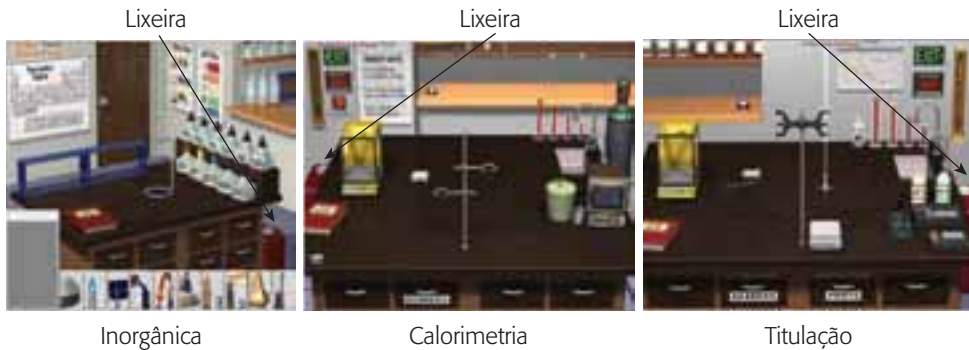
Para levar os itens do almoxarifado para a bancada do laboratório, deve-se primeiro arrastá-los para as áreas realçadas no balcão e, em seguida, clicar na seta verde **RETURN TO LAB**. Também é possível levar itens para o balcão dando um duplo clique sobre eles.

No almoxarifado de cada bancada há sempre uma prancheta pendurada, na qual estão relacionados experimentos clássicos. Ao selecionar um deles, os itens necessários são automaticamente colocados no balcão e, ao retornar à bancada, o experimento já estará montado e pronto para ser desenvolvido.

Lixeiras

Basta clicar na lixeira vermelha ao lado de algumas das bancadas para fazer a limpeza geral (*Cleanup Lab Bench* ou *Clean All*). Esse recurso deve ser utilizado ao final de um experimento ou quando o usuário desejar reiniciá-lo.

Tubos de ensaio e béqueres, depois de utilizados, mesmo durante o desenvolvimento de um experimento, também podem ser descartados na lixeira.



Lab book

Em cada uma das bancadas há um *Lab book*, um livro de anotações no qual podem ser registrados os dados e gráficos das atividades.



As leituras dos instrumentos do laboratório virtual podem ser gravadas no *Lab book*. Para isso, antes de clicar **SAVE**, o *Lab book* deve ser aberto com um clique, e ao clicar em **STOP**, surge um link azul no caderno. Clicando nesse link, a tabela com os dados é aberta na tela e pode-se então copiá-la para uma planilha eletrônica.

Da mesma forma, quando gráficos são gerados por instrumentos do laboratório, eles podem ser salvos no *Lab book* usando o botão **SAVE** para criar um link, desde que o caderno esteja previamente aberto.

Importante: na versão do *Virtual ChemLab* que funciona on-line, é possível enviar informações dos experimentos por meio do *Lab book*.

Monitor de TV

Na margem superior da tela de cada bancada há uma pequena alça que, quando clicada, abaixa um monitor de TV que auxilia no desenvolvimento das atividades.

No monitor, há a opção *Help*, que mostra explicações detalhadas, apenas em inglês, sobre todos os recursos disponíveis na bancada. Em alguns casos, há também a opção *Tutorial*, que ajuda a identificar quais substâncias estão nos instrumentos da bancada.

Bancadas do laboratório

Química inorgânica

Na bancada de química inorgânica (*Inorganic*) há 26 cátions e 11 reagentes que podem ser adicionados a tubos de ensaio em qualquer combinação ou sequência, e quantas vezes se desejar: são mais de 10^{16} possibilidades de simulação. O programa permite fazer as manipulações laboratoriais necessárias e usar o *Lab book* para registrar os resultados. No almoxarifado, é possível criar tubos de ensaio com misturas conhecidas, gerar amostras desconhecidas para praticar, ou ainda retirar amostras criadas pelo instrutor. Há mais de 2 500 imagens reais mostrando resultados de reações e mais de 220 vídeos para exibir diversos testes de chama.

Química quântica

Na bancada de química quântica (*Quantum*), o objetivo é permitir que os alunos explorem e entendam melhor os experimentos que levaram ao desenvolvimento da química quântica. Devido à sofisticação da maioria desses experimentos, essa seção do laboratório é a mais “virtual” do programa *Virtual ChemLab*. De maneira geral, há uma mesa especial (tipicamente usada para experimentos de óptica) na qual diferentes combinações de fonte, amostra, modificador e detector podem ser colocadas para executar experimentos. Esses dispositivos ficam armazenados no almoxarifado e podem ser colocados em diversos locais da mesa. A ênfase é ensinar o usuário a submeter amostras (um gás, uma lâmina de metal etc.) a raios emitidos por uma fonte (laser, canhão de elétrons, emissor de partículas alfa etc.) e, então, observar o resultado utilizando detectores específicos (tela de fósforo, espectrômetro etc.). Os experimentos também podem ser modificados adicionando calor, campo elétrico e campo magnético. Vale destacar que no almoxarifado desta bancada há disponível uma câmera de vídeo, que ajuda muito na visualização dos experimentos. Como em todos os outros setores do *Virtual ChemLab*, o foco é permitir que o usuário explore e descubra, em um ambiente seguro e adequado ao seu nível de conhecimento, os conceitos relevantes em diversas áreas da química.

Gases

Na bancada de estudos sobre gases (*Gases*), os recursos disponibilizados para o desenvolvimento de experimentos permitem que o usuário explore e compreenda o comportamento de gases ideais, gases reais e gases de van der Waal (um modelo de gás real). São quatro tipos básicos de experimento que podem ser desenvolvidos nesta bancada, envolvendo as quatro variáveis utilizadas para descrever os gases: pressão (P), temperatura (T), volume (V) e número de mols (n). A diferença entre esses experimentos é a variável escolhida para ser a variável dependente. Os tipos de experimento são: (1) V em função de P , T e n — utilizando um balão para revelar as variações no volume; (2) P em função de V , T e n — utilizando um pistão ligado a um motor; (3) T em função de P , V e n — utilizando novamente o pistão ligado a um motor; e (4) V em função de P , T e n — desta vez usando um pistão livre, sem atrito e sem massa, para observar a variação de volume e usando pesos para aplicar força sobre

o pistão. Nesses experimentos pode-se utilizar gases ideais (com oito massas moleculares diferentes), gases reais (incluindo N_2 , CO_2 , CH_4 , H_2O , NH_3 e He) ou um gás de van der Waal (cujos parâmetros podem ser alterados para representar qualquer gás real). Além disso, é possível adicionar mais de um gás aos experimentos, formando misturas gasosas.

Titulação

A bancada de titulação (*Titrations*) permite ao usuário realizar titulações quantitativas precisas envolvendo reações ácido-base e reações eletroquímicas. Os equipamentos disponíveis são: uma bureta de 50 mL, pipetas de 5, 10 e 25 mL, provetas, béqueres, um agitador, oito indicadores ácido-base, um medidor de pH/voltímetro, um medidor de condutividade e uma balança analítica. Titulações ácido-base podem ser realizadas em qualquer combinação de ácidos mono-, di- e tripróticos e bases mono-, di- e tribásicas. O pH dessas titulações pode ser monitorado por um medidor de pH, um indicador e um medidor de condutividade em função de volume, e esses dados podem ser salvos no *Lab book* para análise posterior. Um conjunto menor de titulações potenciométricas também pode ser realizado. Erros aleatórios e sistemáticos são incluídos nas medidas durante as simulações: as medições de massa estão sujeitas a erros de fluatibilidade, a vidraria de laboratório possui erros volumétricos e as medidas feitas pelos medidores de pH/voltímetro e de condutividade também possuem erros característicos. Esses erros podem ser ignorados, produzindo os resultados comumente encontrados em trabalhos de laboratório no Ensino Médio ou em nível de graduação; ou então os erros de fluatibilidade e volumétricos podem ser medidos e levados em conta, produzindo resultados com acurácia e reprodutibilidade melhores do que 0.1%.

Calorimetria

Na bancada de calorimetria (*Calorimetry*), os usuários podem medir vários processos termodinâmicos, incluindo o calor de combustão, o calor de solução, o calor de reação, a capacidade calorífica e o calor de fusão do gelo. Pode-se usar três tipos de calorímetro: o calorímetro simples (feito com um copo de isopor com tampa), um frasco de Dewar (versão melhorada do calorímetro simples) e um calorímetro de bomba. O método calorimétrico utilizado em cada calorímetro se baseia em medir a variação de temperatura associada a diversos processos termodinâmicos. Experimentos de calorimetria envolvem a quantificação da variação de temperatura associada a diferentes processos termodinâmicos. Há diversos materiais orgânicos que os alunos podem usar para medir o calor de combustão; diversos sais para medir o calor de solução; diversos ácidos, bases, oxidantes e redutores para medir o calor de reação; diversos metais e ligas metálicas para medir a capacidade calorífica; e gelo para os processos de fusão. Os alunos podem observar gráficos de temperatura *vs.* tempo durante os experimentos e podem salvar os dados no *Lab book* para análise posterior. Também foram incluídos erros sistemáticos e aleatórios nas medições de massa e volume, além de erros característicos nas medições de um termômetro.

Atividades propostas

As atividades laboratoriais a seguir abrangem a maioria dos tópicos ensinados no currículo de química geral. O objetivo delas é fazer você colocar em prática os conceitos e as habilidades de resolução de problemas discutidos em sala de aula. Algumas atividades simplesmente permitem que você mesmo faça medidas e colete os dados que, de outra forma, seriam fornecidos para a resolução de algum problema para ser feito em casa. Outras atividades possibilitam a execução de experimentos sofisticados e fundamentais — aos quais você não teria acesso normalmente — ou de experimentos que até costumam estar disponíveis em laboratórios didáticos, mas que serão mais rápidos e limpos nessas simulações. De modo geral, você vai notar que os trabalhos utilizando o laboratório virtual servem como uma ponte de compreensão entre os conceitos apresentados na sala de aula e sua aplicação em um laboratório real.

Para cada experimento laboratorial fornecido neste livro, há um experimento correspondente listado no *Workbook*. Você encontrará o *Workbook* sobre a mesa no corredor virtual na tela inicial do *Virtual ChemLab*. Clique em um experimento nessa lista e você será levado à bancada desejada no laboratório de química geral, com o experimento selecionado já preparado. A maioria dos trabalhos não deverá levar mais do que 15 a 20 minutos, especialmente se você já estiver familiarizado com o *Virtual ChemLab*. Lembre-se, o objetivo desses experimentos é lhe proporcionar prática em raciocínio lógico, resolução de problemas e aplicação de conceitos. Fique à vontade para montar novos experimentos e explorar o laboratório virtual. Existe, essencialmente, um número ilimitado de descobertas a fazer.

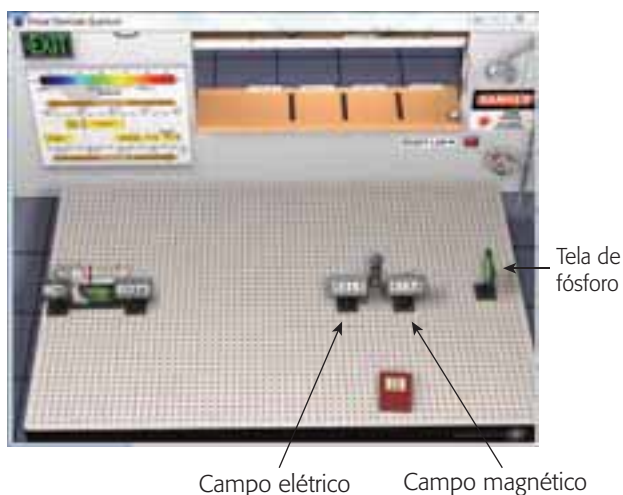


1.1

Experimento de Thomson com tubo de raios catódicos

Quando os cientistas começaram a examinar os átomos, eles primeiro descobriram que podiam extrair dos átomos partículas carregadas negativamente. Essas partículas foram chamadas de elétrons. Para compreender melhor a natureza dos elétrons, era preciso conhecer sua carga e sua massa. John Joseph (J. J.) Thomson era professor de física no renomado Laboratório Cavendish, da Universidade Cambridge. Em 1897, Thomson demonstrou que, se pudéssemos medir a deflexão de um feixe de elétrons em um campo elétrico e em um campo magnético, determinaríamos a razão carga/massa (q/m_e) das partículas (elétrons). Com isso em mãos e conhecendo a carga do elétron, podemos calcular sua massa, ou então sua carga se soubermos a massa. Thomson não conseguiu obter nenhuma delas de modo independente em suas experiências com tubo de raios catódicos e teve que se contentar com a relação carga/massa.

- 1 Inicie o *Virtual ChemLab*, clique em *Workbook* para abri-lo e então selecione *Thomson Cathode Ray Tube Experiment* na lista de atividades. O programa vai abrir a bancada de química quântica (*Quantum*).




- 2 Qual é a fonte (*Source*) utilizada neste experimento? Arraste o cursor sobre a fonte para identificá-la. _____
 Que tipo de carga têm os elétrons? _____
 Qual é o detector usado nesta experiência? _____

3 Acenda a tela de fósforo (*Phosphor Screen*) clicando no interruptor luminoso vermelho/verde (*On/Off*).

O que você observa? _____

A tela de fósforo detecta partículas carregadas (como elétrons) e se ilumina momentaneamente nos pontos em que as partículas colidem com a tela.

4 Para diminuir a sobreposição das janelas do programa, pode ser útil arrastar a do laboratório para baixo e à esquerda, e a da tela de fósforo para cima e à direita.

Pressione o botão  (*Grid*) para exibir a grade na tela de fósforo e ajuste o campo magnético (*Magnetic Field*) em 30 μT .

O que acontece com o ponto iluminado na tela de fósforo?

Clique nos botões no visor, acima e abaixo de cada dígito, para aumentar ou reduzir o valor. Clicando entre os dígitos, é possível mover o ponto decimal.

5 Ajuste o campo magnético de volta para zero e o campo elétrico (*Electric Field*) em 10 V.

O que acontece com o ponto iluminado na tela de fósforo?

Onde o ponto na tela de fósforo deverá estar quando as forças elétrica e magnética estiverem em equilíbrio?

6 Aumente a voltagem do campo elétrico até que o ponto iluminado esteja 5 cm à esquerda do centro.

Qual é a voltagem necessária? _____

7 Aumente a intensidade do campo magnético até que o ponto iluminado atinja o centro da tela. Qual é o campo magnético que cria uma força magnética capaz de equilibrar a força elétrica?

Tabela de dados

Distância defletida (d)	Campo elétrico (V)	Campo magnético (B)

8 De forma simplificada e reduzida, a razão carga/massa (q/m_e) pode ser calculada da seguinte forma:

$$q/m_e = (5,0826 \times 10^{12}) \cdot V \cdot d / B^2$$

em que: V é o campo elétrico (em volts); d é a distância (em cm) defletida a partir do centro, após aplicar somente a voltagem; e B é o campo magnético (em μT).

Com base em seus dados, qual o valor da razão carga/massa de um elétron (q/m_e)?

O valor aceito atualmente é 1.76×10^{11} .

Calcule o erro percentual de sua medida da seguinte forma:

$$\text{erro percentual} = \frac{|\text{sua resposta} - \text{valor aceito}|}{\text{valor aceito}} \times 100$$

$$\text{erro percentual} = \underline{\hspace{2cm}}$$

 **9** Você pode repetir a experiência várias vezes usando medidas diferentes de deflexão.



1.2 Experimento da gota de óleo de Millikan

No experimento de Thomson com tubo de raios catódicos, descobriu-se que podemos usar a deflexão de um feixe de elétrons em um campo elétrico e em um campo magnético para medir a relação carga/massa (q/m_e) de um elétron. Para saber a carga ou a massa de um elétron, precisamos medir um ou outro de maneira independente. Em 1909, Robert Millikan e seu aluno Harvey Fletcher conseguiram produzir gotas de óleo muito pequenas e nelas adicionar alguns elétrons (de 1 a 10 elétrons por gota). Em seguida, mediram a carga total das gotas de óleo observando sua deflexão em um campo elétrico. Você terá a chance de repetir esse experimento e, aplicando os resultados do experimento de Thomson (atividade anterior), será capaz de calcular de modo experimental a massa de um elétron.

- 1 Inicie o *Virtual ChemLab* e selecione *Millikan Oil Drop Experiment* na lista de atividades. O programa vai abrir a bancada de química quântica (*Quantum*).



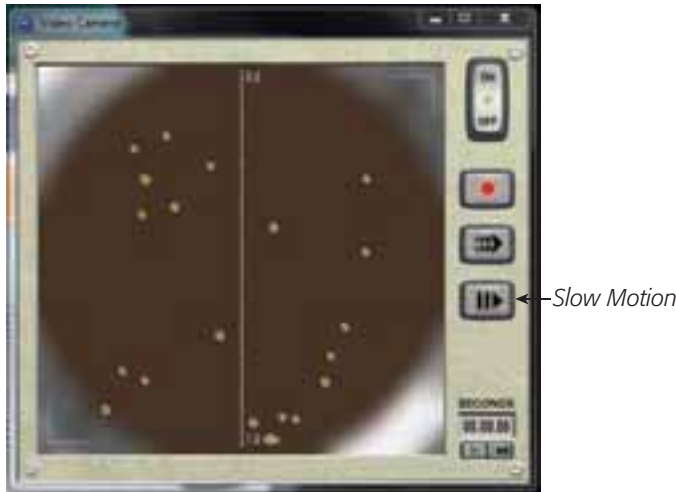
Campo elétrico

Câmera de vídeo

- 2 Qual é o propósito do canhão de elétrons neste experimento?

Como essa fonte afeta as gotas de óleo na câmara de névoa de óleo?

- 3 O detector neste experimento é uma câmera de vídeo provida de uma lente microscópica para visualizar as gotas de óleo. Clique no interruptor luminoso vermelho/verde (*On/Off*) para ligar a câmera de vídeo.




O que você observa na tela da câmera de vídeo?

As gotas de óleo caem todas à mesma velocidade? _____

Qual força faz com que as gotas caiam? _____

As gotas de óleo caem em sua velocidade terminal, que é a velocidade máxima possível por causa das forças de atrito, tal como a resistência do ar. A velocidade terminal é uma função do raio da gota. Medindo-se a velocidade terminal (v_t) de uma gota, o raio (r) pode ser calculado. Em seguida, a massa (m) da gota pode ser calculada a partir de seu raio e da densidade do óleo. Pela massa da gota de óleo é possível calcular sua carga (q).

Importante: Leia as instruções 4 e 5 antes de iniciar o procedimento do item 5.

- 4 *Meça a velocidade terminal de uma gota.* Identifique uma pequena gota no topo da janela que esteja caindo próximo ao centro da escala e clique no botão  (*Slow Motion*) para ativar a “câmera lenta” na tela do vídeo. Aguarde até que a gota atinja uma marca de escala e inicie o cronômetro. Deixe-a cair por pelo menos duas ou mais marcas de escala e pare o cronômetro. Não a deixe cair fora do campo de visualização. Cada marca mede 0.125 mm. Registre a distância e o tempo na Tabela de dados na página seguinte.
- 5 *Meça a voltagem necessária para interromper a queda da gota.* Após medir a velocidade terminal, interrompa a queda da gota, aplicando um campo elétrico entre as duas placas de voltagem. Isso pode ser feito clicando-se nos botões na parte superior ou inferior do controlador de campo elétrico (*Electric Field*) até que a voltagem seja ajustada a fim de que a gota não caia mais.

Isso deve ser feito em câmera lenta. Quando parecer que a queda está parando, desative o recurso de câmera lenta e faça alguns ajustes finais até que a gota não se mova por pelo menos um minuto. Registre a voltagem, V , indicada no controlador de tensão. Complete a experiência com três gotas e registre suas medições na Tabela de dados.

Tabela de dados

Gota	Voltagem (V , em volts)	Tempo (t , em segundos)	Distância (d , em metros)
1			
2			
3			

O experimento da gota de óleo de Millikan é um clássico por causa da simplicidade de seu aparato experimental e da abrangência da análise dos dados. Os seguintes cálculos reduziram equações muito complexas em versões mais simples, com vários parâmetros combinados em uma única constante. Millikan e Fletcher levaram em conta a força da gravidade e do campo elétrico, a densidade do óleo, a viscosidade do ar, a viscosidade do óleo e a pressão atmosférica.

- 6** Calcule a velocidade terminal e registre o valor. Calcule a velocidade terminal, v_t , em unidades de $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, usando esta equação: $v_t = \frac{d}{t}$, onde d é a distância da queda da gota em metros e t é o tempo decorrido em segundos. Lembre-se de que a escala campo de visualização está em mm (1 000 mm = 1 m).

Cada uma das equações nas instruções de 7 a 10 é mostrada com e sem unidades. Você terá mais facilidade em usar a equação adimensional em seus cálculos.

- 7** Calcule o raio (r) da gota e registre o valor. Conhecendo a velocidade terminal, você pode calcular o raio, em metros, da gota usando esta equação:

$$r = (9,0407 \times 10^{-5} \text{ m}^{1/2} \cdot \text{s}^{1/2}) \cdot \sqrt{v_t} = (9,0407 \times 10^{-5} \times \sqrt{v_t}, \text{ sem unidades})$$

- 8** Calcule a massa da gota e registre o valor. Você pode usar o valor do raio (r) obtido na etapa 7 para calcular a massa da gota em função da densidade do óleo. A equação final para o cálculo da massa, em kg, é:

$$\begin{aligned} m &= V_{\text{óleo}} \cdot \rho_{\text{óleo}} = 4\pi / 3 \cdot r^3 \cdot 821 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \\ &= (3439,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}) \cdot r^3 \end{aligned}$$

9 Visto que você aplicou uma voltagem ao campo elétrico para interromper a queda da gota de óleo, as forças exercidas sobre ela devem ser equilibradas, isto é, a força da gravidade deve ser igual à força do campo elétrico que atua sobre os elétrons presos à gota: $qE = mg$. Calcule a carga total (Q_{tot}) da gota de óleo devido aos elétrons, usando a equação:

$$Q_{\text{tot}} = Q(n) \cdot e = (9.810 \times 10^{-2} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}) \cdot m/V$$

onde $Q(n)$ é o número de elétrons na gota, e é a carga elétrica fundamental de um elétron, m é a massa calculada na etapa 8, e V é a voltagem.

Essa resposta fornecerá a carga total da gota (Q_{tot}). A carga elétrica fundamental de um elétron (e) é 1.6×10^{-19} C (coulombs). Divida a carga total (Q_{tot}) por e e arredonde sua resposta para o número inteiro mais próximo. Esse é o número de elétrons, $Q(n)$, que aderiu a sua gota. A seguir, divida a carga total, Q_{tot} , por $Q(n)$ para obter o valor experimental da carga em um elétron.

10 Complete a experiência e os cálculos para, pelo menos, três gotas e resuma seus resultados na tabela.

Tabela de resultados					
Gota	Velocidade terminal (v_t)	Raio (r , em metros)	Massa (m , em kg)	Carga total da gota (Q_{tot} , em coulombs)	Carga em um elétron (C)
1					
2					
3					

11 Calcule a média de seus resultados para a carga de um elétron. Calcule o erro percentual por:

$$\text{erro percentual} = \frac{|\text{sua resposta} - 1.6 \times 10^{-19}|}{1.6 \times 10^{-19}} \times 100\%$$

Qual é sua carga média para um elétron?

Qual é seu erro percentual? _____

12 Você deve se lembrar de que, no experimento de Thomson, calculou a razão carga/massa (q/m_e) como 1.7×10^{11} . Usando esse valor para q/m_e e sua carga média para um elétron, calcule a massa de um elétron em kg.

Qual é o valor que você calculou para a massa de um elétron em kg? _____



1.3

Experimento de retroespalhamento (*backscattering*) de Rutherford

Uma experiência fundamental para a compreensão da natureza da estrutura atômica foi concluída por Ernest Rutherford em 1911. Ele montou um experimento no qual dirigiu um feixe de partículas alfa (núcleos de hélio) através de uma lâmina de ouro e depois para uma tela de detecção. De acordo com o modelo atômico do “pudim de passas” (ou de ameixa), os elétrons flutuam em uma nuvem de carga positiva. Com base nesse modelo, Rutherford esperava que quase todas as partículas alfa passassem através da lâmina de ouro sem se desviarem. Poucas partículas alfa sofreriam uma ligeira deflexão por causa da atração aos elétrons negativos (partículas alfa têm carga de +2). Imagine sua surpresa quando algumas delas se desviaram em todos os ângulos, até mesmo quase em linha reta para trás.

De acordo com o modelo do “pudim de passas”, não havia nada no átomo que fosse maciço o suficiente para desviar as partículas alfa. A reação de Rutherford foi a de que isso era “...quase tão incrível quanto disparar um cartucho de 15 polegadas de diâmetro contra um pedaço de papel e ele voltar, atingindo-o”. Ele sugeriu que os dados experimentais só se justificariam se a maior parte da massa de um átomo se concentrasse em um pequeno núcleo central, positivamente carregado. Esse experimento forneceu as evidências necessárias para comprovar o modelo nuclear do átomo. Nesta atividade, você vai fazer observações semelhantes às do professor Rutherford.

- 1 Inicie o *Virtual ChemLab* e selecione *Rutherford's Backscattering Experiment* na lista de atividades. O programa vai abrir a bancada de química quântica (*Quantum*).



- 2 A experiência será montada sobre a bancada do laboratório. A caixa cinza no lado esquerdo da mesa contém uma amostra de ^{241}Am .

Quais partículas são emitidas dessa fonte? _____

O que são partículas alfa? _____

- 3 Passe o mouse sobre o suporte de chapa metálica no centro da mesa. Qual é a chapa metálica usada? Se você quiser visualizá-la, clique e segure no suporte de metal.
- 4 Aponte o cursor do mouse para o detector (à direita).
Qual é o detector utilizado nesta experiência? _____
- 5 Ative o detector clicando no interruptor de luz vermelho/verde (*On/Off*).



O que representa o sinal no meio da tela do detector? _____

A tela de fósforo detecta partículas carregadas (como as partículas alfa) e ilumina-se momentaneamente nos pontos em que as partículas colidem com a tela.

Que outros sinais você vê na tela de detecção de fósforo? O que esses sinais representam?

Clique no botão  (*Persist*) para que os pontos iluminados persistam na tela do detector de fósforo.

De acordo com o modelo do “pudim de passas”, o que causa a deflexão das partículas alfa?

Faça uma observação geral sobre o número de partículas alfa que atingiu a tela de detecção de fósforo em um minuto.

- 6 Agora, você vai fazer observações usando diferentes ângulos de deflexão. Clique na janela principal do laboratório para trazê-la à frente. Clique na base da tela de detecção de fósforo e arraste-a até a região realçada no canto superior direito. A função *Persist* deve permanecer ativada.

Observe o número de colisões nessa posição, em comparação com a posição do primeiro detector.

- 7 Mova o detector para a posição superior central do refletor a um ângulo de 90° em relação ao suporte metálico.

Observe o número de colisões nessa posição do refletor, em comparação com a posição do primeiro detector.

- 8 Mova o detector para a posição superior esquerda do refletor e observe o número de colisões na tela de fósforo por um minuto.

Observe o número de colisões nessa posição do refletor, em comparação com a posição do primeiro detector.

O que faz com que as partículas alfa se desviem para trás?

Como esses resultados refutam o modelo do pudim de passas? Tenha em mente que existem 1 000 000 de partículas alfa que atravessam a lâmina de ouro por segundo.

Os átomos de ouro são compostos principalmente de matéria ou vácuo?

Como a experiência da lâmina de ouro demonstra que quase toda a massa de um átomo está concentrada em um pequeno átomo central positivamente carregado?

Os alunos costumam perguntar: “Por que Rutherford usou uma lâmina de ouro?”. A resposta mais comum é que o ouro é macio e maleável e pode se transformar em lâminas muito finas. Há outra razão que você poderá descobrir sozinho.

9 Desative a tela de detecção de fósforo. Clique duas vezes na base do suporte da chapa metálica para movê-lo para o almoxarifado (*Stockroom*). (Você também pode clicar e arrastá-lo até o balcão.) Clique no almoxarifado para entrar. Clique na caixa contendo as lâminas de metal (*Metal foil*) na prateleira de cima. Selecione o magnésio (Mg) e então clique na seta verde para retornar ao laboratório (**RETURN TO LAB**).

10 Mova o suporte da amostra de metal da janela do almoxarifado de volta para o centro da mesa. Retorne a tela de fósforo para seu local original no lado direito da mesa e ligue-a. Ative a função *Persist*. Observe o número de colisões usando o magnésio em comparação com o número de colisões usando a amostra de ouro.

Por que Rutherford escolheria a lâmina de ouro em vez da de magnésio? Justifique.
