

Cadeira de Física Experimental IV

Experiências de Física Moderna

INTRODUÇÃO AO FUNCIONAMENTO DA CADEIRA

OBJETIVOS

A finalidade do laboratório de Física Experimental IV é proporcionar contacto com algumas experiências de física moderna e, no processo, aprofundar a compreensão das relações entre a experiência e a teoria em física microscópica. Algumas destas experiências conduziram a avanços importantes na física durante este século. Os dados que se obtêm têm erros sistemáticos e estatísticos inevitáveis que obscurecem as relações entre as observações macroscópicas e as leis que governam o mundo submicroscópico dos átomos e dos núcleos. Os alunos serão desafiados a aprender como funciona cada uma das instalações experimentais, a dominar a sua manipulação de modo a obter os melhores dados possíveis, e a interpretar os dados à luz da teoria e de uma avaliação quantitativa dos erros. Esperamos dos alunos a satisfação de observar e compreender alguns dos fenómenos que marcaram a física do século XX.

REGRAS DE FUNCIONAMENTO

- 1) As primeiras quatro semanas de aulas são dedicadas a aulas teóricas de introdução às experiências. Os trabalhos de laboratório começam na quinta semana.
- 2) Cada turma funciona com quatro grupos de três alunos cada. Cada turma tem uma sessão de laboratório semanal de 4h.
- 3) Cada grupo escolhe da lista de experiências disponíveis um conjunto de experiências que totalizem 8 sessões.
- 4) Cada experiência tem um questionário anexo ao guia do laboratório. Respostas escritas individuais devem ser entregues no início da primeira sessão. Os alunos que não entreguem as respostas ou que entreguem respostas nitidamente insuficientes não são autorizados a realizar a experiência.
- 5) Cada aluno tem um “log-book” pessoal onde anota as condições experimentais, os resultados das medidas e os resultados da análise dos dados. Tabelas de resultados da análise ou figuras produzidas em computador podem ser coladas ao “log-book”. Os resultados da análise dos dados podem ser individuais ou comuns ao grupo. Uma fotocópia das páginas relevantes do “log-book” deverá ser entregue na semana seguinte à conclusão da experiência.
- 6) Os resultados de cada experiência são discutidos oralmente com o grupo, com base no conteúdo dos “log-books”. A discussão tem a duração de 1/2 hora e é realizada durante a sessão seguinte à conclusão da experiência.
- 7) Para uma das experiências realizadas (Experiência Principal) será organizada uma sessão de revisão durante as duas últimas semanas de aulas do semestre. A sessão de revisão consta de uma apresentação oral (Seminário) com o máximo de 45 mn por grupo dividida

em três partes de 15 mn. A cada grupo será indicada qual das quatro experiências realizadas é a Experiência Principal.

- 8) Na sessão de revisão da Experiência Principal deverá ser entregue um relatório do tipo “artigo científico” com o máximo de 3000 palavras e seis figuras ou tabelas (trabalho em grupo). A data da revisão é a data limite para a entrega do artigo.
- 9) A avaliação de conhecimentos é individual. Tem em conta o seminário e o artigo (40%), as respostas aos questionários, o conteúdo do “log-book”, as discussões orais e a atitude nas aulas (60%).

CIÊNCIA E ÉTICA

Quando lemos um artigo numa revista científica relatando os resultados de uma experiência da física supomos normalmente que se trata de uma descrição honesta do que os autores observaram. Podemos duvidar da teoria ou do modelo utilizado ou desenvolvido para explicar os resultados. Mas temos confiança que se repertirmos as manipulações experimentais tal como descritas obtemos essencialmente os mesmos resultados.

Se trabalho posterior mostrar que uma medida publicada está errada a reputação dos autores é seriamente afectada. Se uma fraude for descoberta a carreira dos autores será muito provavelmente desfeita. Portanto os cientistas têm muito cuidado com os resultados que publicam.

Da mesma forma, no laboratório de Física Experimental IV os docentes supõem que o que o aluno escreve no “log-book” ou relata nas apresentações orais corresponde exactamente às observações realizadas. Poderá acontecer que as medidas estejam erradas por causa de uma manipulação incorrecta, do mau funcionamento do equipamento ou simplesmente de um engano. Uma discussão com o docente pode ajudar a identificar a causa do erro. Se as circunstâncias forem tais que um grupo não possa apresentar dados próprios (por exemplo, devido a um equipamento defeituoso), o grupo pode usar dados de outros alunos, desde que o mencione explicitamente. A falsificação de dados ou a utilização sem menção de resultados de outras pessoas é uma falta grave que dará lugar a um procedimento disciplinar.

Há uma grande diferença entre um laboratório de ensino e um laboratório de pesquisa. As experiências no laboratório de Física Experimental IV tratam de fenómenos e medidas já conhecidas num intuito formativo. Não há nada de errado em procurar saber previamente quais são os resultados esperados. Com efeito, a maneira de obter o maior benefício das experiências é utilizá-las como um jogo em que se procura extrair a melhor medida possível do equipamento disponível e dos instrumentos de análise para comparar com o valor estabelecido. Se o valor estabelecido estiver fora da margem de erro experimental, tente-se perceber o que correu mal e repita-se a medida novamente. Se pelo contrário o valor estabelecido está dentro da margem de erro, procure-se fazer o necessário para provar que o acordo não é acidental. A chave para obter confiança num resultado é a repetição. Mas qualquer que seja o resultado experimental é preciso dizer exactamente o que se observou ou mediu, independentemente de quão maus os resultados possam parecer.

LOG-BOOK

O objetivo principal do “log-book” deste curso é criar hábitos de “record keeping” que servirão na carreira de investigador. Aconselha-se o uso de um caderno com folhas quadriculadas ou que alterne folhas de linhas com folhas de quadrícula milimétrica, por forma a facilitar o traçado de gráficos e tabelas preliminares durante a realização da experiência.

Embora as experiências sejam realizadas em grupo, e os seus membros sejam encorajados a colaborar em todos os aspectos da tomada e da análise dos dados, cada estudante deve manter um registo completo e datado de cada experiência e da sua análise. Tabelas ou gráficos feitos em computador de resultados comuns ao grupo são colados no “log-book”.

Deve-se escrever uma narrativa suficiente clara dos procedimentos experimentais de modo que, anos mais tarde, se possa reproduzir se necessário todos os detalhes significativos do que se fez e dos resultados que se obtiveram. As notas, as tabelas, e os gráficos devem ser claros, compactos e organizados de forma lógica. Não deve haver folhas separadas. A qualidade do “log-book” será um factor importante na avaliação de desempenho no curso.

Os dados adquiridos devem ser analisados no laboratório de forma preliminar, à medida que vão sendo adquiridos para verificar que são razoáveis. Quando se fizer uma série de medidas de uma quantidade enquanto outra varia, trace-se os resultados num gráfico de modo a ver a tendência, identificar enganos, e decidir onde são necessários mais dados. Cada medida deve ser repetida pelo menos três vezes de uma maneira tão independente quanto possível. Se as manipulações experimentais e a análise preliminar de uma experiência forem concluídas em menos das duas sessões regulares, o tempo restante deve ser aproveitado para melhorar a experiência e obter a melhor série de dados possível.

Algumas experiências poderão necessitar de transferir os dados para um computador e armazená-los em disco. Obviamente, não é prático nestes casos imprimir todos os dados e colá-los no “log-book”. No entanto, espera-se que o “log-book” contenha tabelas ou gráficos representativos dos dados. Além disso, espera-se um sumário dos ficheiros de dados de modo a que seja possível mais tarde associar os ficheiros de dados aos procedimentos e condições utilizadas para os obter.

SEMINÁRIO

Uma das experiências (Experiência Principal) será objecto de uma sessão de revisão organizada durante as duas últimas semanas de aulas do semestre. Cada um dos membros do grupo fará uma apresentação oral de 15 mn sobre os aspectos teóricos e experimentais de uma parcela da experiência. Cada estudante deve apresentar na sessão de revisão o seu “log-book”.

Quinze minutos é um tempo curto, pelo que é essencial que os alunos ensaiem previamente a apresentação. Recomenda-se a utilização de transparentes ou PC-video. Os seminários são públicos e devem ser dados no estilo de uma comunicação a uma conferência. Será reservado tempo para perguntas dos docentes ou de outros estudantes, permitindo uma discussão geral sobre a experiência.

A parte teórica deve demonstrar conhecimento de alguma parcela da teoria relevante para a compreensão do significado dos resultados experimentais. A parte experimental deve demonstrar uma compreensão de como o equipamento funciona, do que foi medido, de como os dados foram tratados e de como os erros estatísticos e sistemáticos foram estimados. Cada estudante deve discutir uma parte da teoria e uma parte da experiência. As apresentações devem ser preparadas em colaboração entre os membros do grupo.

ARTIGO

Por ocasião da sessão de revisão da Experiência Principal, cada grupo deve submeter um relatório da experiência preparado em conjunto. O relatório deve seguir o modelo de um artigo científico (submetido por exemplo a *Physical Review*) e deve cobrir a teoria, os procedimentos experimentais, os dados, a análise, e os resultados da experiência.

O artigo não deve ter mais de 3000 palavras nem mais de seis tabelas e figuras. Fórmulas essenciais e deduções breves quando apropriadas devem ser introduzidas no texto. Os dados essenciais e os resultados numéricos devem ser apresentados em tabelas ou figuras com subtítulos. As tabelas extensivas de dados, se existirem, devem estar em apêndices (que não são contados no limite das 3000-palavras).

O artigo será avaliado com base em:

- Experiência (compreensão, qualidade dos dados, resultados e análise do erro)
- Teoria (compreensão, apresentação)
- Português (gramática, ortografia, estilo)
- Apresentação (organização, figuras, tabelas, subtítulos, referências, clareza)

Dois factores são importantes para a clareza de um artigo:

- 1) **Organização:** O leitor deve encontrar um esquema geral do artigo e perceber facilmente em que parte do contexto geral se integram os factos relatados. Além disso, os factos devem ser apresentados numa ordem lógica.
- 2) **Uniformidade da apresentação:** o autor deve atribuir a cada tópico uma extensão proporcional à sua importância.

Recomenda-se ainda:

- 1) que se comece a preparação do artigo por um esquema das secções e sub-secções;
- 2) que a introdução contenha uma apresentação do plano do artigo;
- 3) que se comece cada secção com um curto do parágrafo (três linhas) explicado o conteúdo dessa secção;
- 4) que se comece cada parágrafo com uma frase que expresse a área de interesse e a conclusão principal do parágrafo. Material menos importante deve figurar mais tarde no parágrafo.

Sugestões de estilo:

Use o tempo passado para procedimentos ou análises e o presente para as conclusões, e.g. “... a análise dos dados *mostrou* que os electrões *são* ondas”.

SEGURANÇA

Alta tensão

Todas as fontes de alta tensão estão claramente identificadas. Desligue a fonte se necessitar mudar as conexões. A fonte pode ser perigosa mesmo quando desligada se os condensadores não estiverem descarregados. Mantenha sempre uma mão no bolso ao testar o circuito em que possa haver altas tensões de modo que se receber uma descarga esta não atravesse o peito. Use sapatos com sola de borracha. Lembre-se que é a corrente que mata.

Radiação

A radiação de ionização danifica os tecidos. Consequentemente toda a exposição deve ser minimizada. A unidade de exposição de radiação é o rem (homem equivalente do roentgen). Uma nova unidade, chamada o Sievert (=100 rem) é recomendada pelo Comité Internacional das Unidades e Medidas de Radiação (ICRU). A dose devido aos raios cósmicos e outras fontes naturais é 360 millirems/ano, ou seja 4.2×10^{-2} millirems/hora.

O limite recomendado de dose artificial para o público em geral é de 100 millirem/ano, calculando a média sobre cinco anos consecutivos. Para os profissionais que trabalham com radiações, o ICRP recomendada um limite de 2 rem/ano, calculando a média sobre 5 anos, com a dose em qualquer um ano não excedendo 5 rem.

Seguindo as normas de utilização de fontes no laboratório de Física Experimental IV, a exposição recebida será somente uma pequena fração da dose natural. As fontes radioativas emitem três tipos de radiação: núcleos de hélio de alta energia (raios alfa), electrões (raios beta) ou fotões (raios gama). A maioria das fontes no laboratório emitem somente radiação gama. As fontes que emitem raios alfa ou beta estão envolvidas em plástico ou metal que impedem a radiação de escapar.

A actividade uma fonte radioativa é medida em curies (Ci). Uma fonte de um curie tem uma actividade de $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo. A “dose absorvida” é uma quantidade que mede a energia absorvida por unidade de massa; é medida em rads, sendo $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$. A “dose equivalente” é medida nas unidades discutidas acima, o rem. A dose equivalente obtem-se da dose absorvida multiplicando por um factor que depende do tipo particular de radiação. Para os raios gama e os electrões e os positrões o factor é a unidade; para partículas alfa é 20; para protões com energia superior a 2 MeV é 5; para neutrões varia entre 5 e 20, dependendo da energia.

Para raios gama com energia superior a 1 MeV, a dose equivalente devido a uma fonte com actividade C (microcuries) é aproximadamente $5,2 \cdot 10^{-4} \text{ CE/R}^2$ millirem/hr, onde R é a distância à fonte em metros e E é a energia do raio gamma em MeV. Para raios gama com energia inferior a 1MeV, a fórmula é ainda aproximadamente verdadeira, embora as doses sejam concentradas na pele. Por o exemplo, as mãos recebem uma dose local ao segurar uma fonte de 10 keV que pode ser até 25 vezes superior o valor dado pela fórmula acima; as mãos, entretanto, têm uma tolerância mais elevada que os órgãos ou os olhos.

A protecção obtida com o revestimento varia drasticamente com a energia dos fotões. A intensidade de um feixe de raio X "soft" (i.e. < 1 KeV) pode ser reduzida por muitas ordens de grandeza com uma folha de alumínio de um milímetro enquanto raios gamma de 1,2 MeV de uma fonte de ^{60}Co são atenuados apenas por um factor dois por uma folha de chumbo de um centímetro. A melhor forma de reduzir a dose recebida é manter-se afastado da fonte. Se estiver afastado de um metro de qualquer das fontes do laboratório, mesmo sem protecção, estará recebendo um dose muito inferior à dose permitida.

Terminamos com uma lista das precauções:

1. Não segure fontes radioactivas mais do que necessário.
2. Trabalhe rapidamente ao transferir ou ao posicionar fontes radioativas.
3. Nunca leve uma fonte para fora do laboratório, mesmo temporariamente.
4. Reponha as fontes no armário de armazenamento quando não são precisas.
5. Mantenha as fontes afastadas do corpo.
6. Nunca ponha uma fonte radioativa perto dos olhos pois são particularmente sensíveis à radiação.
7. Esteja atento às fontes que estão sendo usadas nas bancadas vizinhas.

Texto parcialmente adaptado do curso experimental Junior Lab, MIT.