

Bibliografia de Física do Estado Sólido

José António de Carvalho Paixão

Sugestões para o Diogo...

Coimbra
30 de Maio de 2007

Conteúdo

•	Livros	1
•	Alguns artigos didáticos altamente recomendáveis	6

- **Livros**

1. Bibliografia fundamental

- (a) *Solid State Physics*, N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, Holt-Saunders, 1976. ISBN 0-3-049346-3.
- (b) *Introduction to Solid State Physics*, C. Kittel. John Wiley & Sons, 1996, 7^a. edição. ISBN 0-471-11181-3.
- (c) *Condensed Matter Physics*, M.P. Marder, John Wiley & Sons, 2000. ISBN 0-471-17779-2.
- (d) *Elementary Solid State Physics, principles and applications*, M.A. Omar. Addison-Wesley Pub. Co., 1975. ISBN 0-201-6073-3.
- (e) *The Physics and Chemistry of Solids*, S. Elliot, John Wiley & Sons, 1998. ISBN 0-471-98194-X. ISBN 0-19-856192-X.
- (f) *Fundamentals of Solid State Physics*, J.R. Christman. John Wiley & Sons, 1987. ISBN 0-471-81095-9.
- (g) *Solid State Physics* G. Grosso, G.P. Parravicini. Academic Press (2000). ISBN: 0-123-04460-X.
- (h) *Lectures on the electrical properties of materials*, L. Solymar, D. Walsh, Oxford University Press, 1988 (4^a edição).
- (i) *Solid State Physics*, G. Burns. Academic Press, Inc., 1990. ISBN 0-12-146070-3.
- (j) *Solid State Physics*, M.S. Rogalski, S. Palmer. Gordon & Breach Science Pub. 2000. ISBN: 9-056-99273-2.
- (k) *Introductory Solid State Physics*, H.P. Meyers. Taylor & Francis, 1997 2^a edição. ISBN 0-7484-0660-3.
- (l) *Solid State Physics*, J.R. Hook, H.E. Hall, John Wiley & Sons, 1991 (2^a edição). ISBN: 0471928054.
- (m) *Solid State Physics*, J.S. Blakemore, Cambridge University Press, 1987 (2^a edição). ISBN: 0-521-31391-0.
- (n) *Band Theory and Electronic Structure of Solids*, J. Singleton, Oxford University Press, 2001, ISBN 0-19-850644-9.
- (o) *Magnetism in Condensed Matter*, S. Blundel, Oxford University Press, 2001, ISBN 0-19-850592-2
- (p) *Optical Properties of Solids*, M. Fox, Oxford University Press, 2001, ISBN 0-19-850612-0.

Ashcroft e Mermin editaram em 1976 a obra que rapidamente se impôs como um livro de texto de referência em Física do Estado Sólido. O rigor do tratamento dos assuntos é irrepreensível. O estilo dos autores é de uma grande sobriedade, não cedendo à tentação de

divagar por assuntos acessórios, procurando partir do geral para o particular, sempre que possível. A apresentação de resultados experimentais é algo limitada e o livro denuncia o pendor teórico dos autores. No entanto, o formalismo mantém-se simples, embora a notação seja, por vezes, algo compacta. Nalguns capítulos a profundidade com que os assuntos são tratados excede o nível desta disciplina, mas, em regra o nível é adequado. Infelizmente, a obra nunca foi revista, e encontra-se desactualizada nalguns capítulos, por exemplo no que diz respeito à supercondutividade. Outro obstáculo à sua utilização como livro de texto é a utilização do sistema de unidades CGS. No entanto, no que diz respeito aos assuntos basilares da Física do Estado Sólido, mantém-se como a obra de referência.

A obra de C. Kittel praticamente dispensa apresentação, sendo o manual clássico de Física do Estado Sólido. Foi um dos primeiros livros de texto dedicados a este ramo da Física moderna, tendo a primeira edição saído do prelo em 1953. O grande sucesso editorial da obra de Kittel é testemunhado pelas sete edições da obra em inglês e inúmeras reimpressões. Está traduzido em várias idiomas, sendo o único livro de Física do Estado Sólido com edição em português pela editora brasileira Guanabara. Infelizmente, a tradução é de muito fraca qualidade, pelo que só é recomendável a estudantes para os quais a consulta da literatura em inglês seja um verdadeiro obstáculo. Tanto quanto sabemos, a única edição brasileira da obra esgotou, e não foi reimpressa. Uma das grandes vantagens do livro de Kittel é a abundância de tabelas com dados experimentais, sendo a teoria confrontada a par e passo com a experiência. Um dos defeitos que se apontaram a edições anteriores foi a falta de um esforço de unificação teórica dos vários temas, que aparece atenuada na edição mais recente, mantendo-se embora o cariz da abordagem eminentemente pragmática e experimental. A linguagem é algo seca e o leitor pouco apoiado nalguns passos mais obscuros de algumas deduções matemáticas, pelo que o aluno com mais dificuldades tem, normalmente, preferência por obras do estilo da de A. Omar. Por outro lado, os alunos com forte pendor teórico têm uma preferência nítida pela abordagem mais elegante e de maior rigor formal de Ashcroft. Na última edição, datada de 1996, foi feito um esforço de actualização importante tendo sido incluídos vários novos tópicos como as heteroestruturas e a microscopia de efeito de túnel. Noutra inovação, as expressões mais importantes apresentadas “em caixa” são dadas no CGS e no SI, apesar de no texto, nas figuras e nas tabelas de dados, se continuar a usar o CGS. Isto é, sem dúvida, uma ajuda aos alunos que não são fluentes no sistema CGS.

Marder é um distinto sucessor da escola de Cornell de Ashcroft e Mermin. A obra “Condensed Matter Physics” foi editada em 1999 e a primeira impressão da obra esgotou-se num ápice estando actualmente à venda a segunda impressão, onde foram corrigidas várias pequenas gralhas arreliadoras disseminadas pelo texto. O autor é um reputado físico teórico, especialista em dinâmica não linear e na modelação de fenómenos complexos. Em nenhuma outra obra de carácter geral se encontram tão bem tratados assuntos como deslocções, quase-cristais, cristais líquidos ou a superfluidez do He. Os temas clássicos da física do estado sólido como sejam a estrutura electrónica dos metais e semicondutores, magnetismo e supercondutividade também são muito bem tratados, contudo por vezes a um

nível superior ao da licenciatura. Infelizmente, o autor sucumbe por vezes a uma tentativa de enciclopedismo o que obscurece desnecessariamente a abordagem de alguns temas. O estilo desvia-se, pela exuberância, do livro de Ashcroft e Mermim que claramente serviu de modelo. Curiosamente, o autor fez questão de citar a literatura original de forma completa, sejam eles os artigos de Heaviside publicados em 1892 ou as últimas referências a supercondutores “não convencionais”. Em quase todos os capítulos estão também referenciados bons artigos de revisão. Trata-se de uma obra que já é indispensável.

A “Elementary Solid State Physics” de M.A. Omar é uma das preferidas dos alunos para uma primeira abordagem da matéria, talvez pela familiaridade com o livro que tem sido recomendado na disciplina de Física do Estado Sólido. Fazendo justiça ao epíteto de “elementar”, a linguagem é muito simples, despida do rigor formal de outras obras, e resulta numa leitura muito agradável. A abordagem de alguns assuntos revela algumas deficiências, por exemplo na discussão aligeirada do teorema de Bloch. Em compensação, todos os assuntos são bem exemplificados com resultados experimentais e há o cuidado de discutir, com certo detalhe, as aplicações tecnológicas. Um dos melhores capítulos é sobre aplicações de semicondutores, discutindo com um detalhe fora do comum dispositivos como o díodo de Gunn. A edição mais recente foi corrigida de várias gralhas dispersas pelo texto na edição original, mas não foram feitas, infelizmente, actualizações, pelo que nalguns aspectos o livro encontra-se desactualizado.

O livro de S. Elliot, também bastante recente (1998), tem uma aproximação bastante original, na tentativa de unificar a Física e a Química dos Sólidos. Numa obra de cerca de 800 páginas, existem apenas oito capítulos, sendo os quatro primeiros dedicados à síntese e preparação de materiais, estrutura atómica e preparação química, defeitos e dinâmica de redes. Os quatro últimos abordam os electrões em sólidos, a dinâmica, as propriedades dieléctricas e magnéticas e os materiais de baixa dimensionalidade. O grafismo é excelente e a informação muito actualizada. O estilo é sóbrio mas de leitura muito agradável. A formalismo matemático é reduzido, mas superior ao livro de A. Omar, e como este, integralmente escrito no S.I. O texto é acompanhado de cerca de 200 exercícios e encontra-se bem referenciado.

O livro de R. Christman é um bom compromisso entre o enciclopedismo, nem sempre bem sucedido, a que aspiram certas obras e uma sobre-simplificação que prejudica outras. São abordados todos os assuntos clássicos da Física do Estado Sólido e há um claro cuidado de rigor expositivo. Cada capítulo possui um conjunto de problemas de grau de dificuldade apropriado a estudantes de licenciatura. O autor não cedeu aqui à tentação comum de remeter para a secção de problemas as demonstrações mais difíceis omitidas no texto. É de justiça referir duas grandes vantagens deste livro, em relação a alguns outros de nível semelhante. A primeira, é a adopção integral do SI em todos os capítulos, com uma transcrição cuidada dos gráficos e tabelas de resultados experimentais para este sistema quando eles foram apresentados no CGS nas obras originais. A segunda vantagem, é a existência uma edição de capas finas a um custo bastante acessível. Certamente um livro recomendável, pese embora alguns defeitos menores, como uma apresentação de alguns

assuntos demasiado compacta e um grafismo e composição tipográfica que deixam algo a desejar.

O livro de Grosso e Parravicini também é muito recente (2001). Trata-se de mais um livro enciclopédico, que na abordagem de alguns tópicos atinge um nível ainda mais profundo que o de Marder. No primeiro capítulo é logo abordado o teorema de Bloch e resolvido o problema de Knrönig-Penney recorrendo a várias abordagens, desde a utilização de matrizes de transferência a funções de Green, passando pelo uso de fracções continuadas! O estilo do livro é muito sóbrio, distinguindo-se neste aspecto do de Mader, mais exuberante, mas porventura menos claro num ou noutro tópico. Tal como os autores reconhecem, é um livro mais ao nível da pós-graduação, mas que se refere aqui por se tratar de uma excelente obra de referência, actualizada, cobrindo com algum detalhe assuntos apenas aflorados noutras obras.

As lições de Solymar e Walsh sobre as propriedades eléctricas e magnéticas dos materiais tiveram a sua primeira edição em 1970. A versão actualmente disponível, uma reimpressão da 4ª edição, foi amplamente revista em 1990 mas o livro não perdeu nada do seu charme original. Num estilo muito pessoal, num diálogo directo com o leitor, o livro passa em revista as propriedades eléctricas, ópticas e magnéticas dos materiais com uma fluência invejável. Os pressupostos do autor em relação aos conhecimentos prévios do leitor não são exigentes, o livro começa com dois capítulos intitulados “O electrão como partícula” e “O electrão como onda”. Apesar disso, é atingido rapidamente um alto nível, sobretudo na discussão dos dispositivos semicondutores e optoelectrónicos. O magnetismo e a supercondutividade têm um lugar menor nesta obra, mas o tratamento da teoria fenomenológica de Ginzburg-Landau está particularmente bem conseguido. Um encanto adicional da obra são os pequenos comentários em nota de rodapé, plenos de um refinado sentido de humor. Todos os capítulos têm um conjunto de problemas interessantes cujas soluções estão publicadas num opúsculo, vendido em separado.

O livro de Burns é uma obra volumosa (800 pag. em corpo pequeno), cobrindo todos os assuntos tradicionais da Física do Estado Sólido, incluindo um bom tratamento de superfícies e de estruturas semicondutoras artificiais. A linguagem utilizada é simples e o formalismo matemático reduzido, mas, infelizmente, o aspecto gráfico do livro é muito tosco, o que o torna pouco apelativo para os alunos. A obra está bem referenciada e as notas históricas são interessantes, mas os problemas de fim de capítulo são escassos, e geralmente académicos.

Os manuais de Rogalski e Palmer, Meyers, Hook e Hall e Blakemore são livros de texto de níveis semelhantes que se adequam perfeitamente ao nível da licenciatura. As diferenças entre eles são mais de estilo do que de conteúdos, ou grau de dificuldade.

As obras de Singleton, Fox e Blundel fazem parte de uma colecção de seis livros editados este ano pela Oxford University Press que constituem a “Oxford Master Series in Condensed Matter Physics”. Foi uma das boas surpresas editoriais de 2001. Está previsto para o final de 2002 o lançamento de mais um livro desta colecção, sobre supercondutividade.

A manter-se o alto nível dos restantes livros da série, será certamente mais uma obra a incluir nesta lista de bibliografia fundamental.

2. Bibliografia complementar

- (a) *Introduction to Superconductivity*, A. Rose-Innes, E. H. Rhoderick. Pergamon, 1978, (2^a edição). ISBN 0080216528.
- (b) *Introduction to Superconductivity and High- T_c Materials*, M. Cyrot, D. Pavuna, 1992, ISBN 981-02-0143-5
- (c) *Introductory semiconductor device physics*, G. Parker, Prentice-Hall (1994). ISBN 0-13-143777-1
- (d) *Semiconductor Statistics* J.S. Blakemore, Dover, 1987 (2^a edição). ISBN 0-486-65362-5.
- (e) *Solid State Magnetism*, J. Crangle, Chapman & Hall, 1992. ISBN 0-442-30856-6.
- (f) *Simulations for Solid State Physics : an interactive resource for students and teachers*, R.H. Silsbee, J. Dräger, Cambridge University Press (1987). ISBN: 0-521-59911-3.
- (g) *Initiation à la Physique du Solide. Exercices comentés*, J. Cazaux, Masson , 1989 (2^a edição).
- (h) *Solid State Physics: problems and solutions.*, L. Mihaly, M. C. Martin, John Wiley & Sons, Inc, 1996. ISBN: 0-471-15287-0.
- (i) *Problems in Solid State Physics*, ed. H. Goldsmid, Pion Limited, 1968.

O livro de Rose-Innes e Rhoderick é uma pequena obra sobre supercondutividade da era pré-HTc, de leitura muito agradável. A qualidade didáctica da exposição, que se adequa perfeitamente ao nível da licenciatura, é evidente. A obra de Cyrot é mais actual e completa, mas algo mais exigente ao nível dos conhecimentos prévios do leitor.

Os livros de Crangle, Blakemore e Parker são obras temáticas, escritas por especialistas, mas onde o nível de discussão se mantém acessível ao nível da licenciatura. O de Parker, em particular, tem uma exposição clara e é bastante apreciado pelos alunos.

O livro de Silsbee e Dräger é o manual de exploração de um conjunto de programas de simulação para Física do Estado Sólido, alguns dos quais estão indicados na lista de “software educativo”.

As três últimas referências são colectâneas de problemas de Física do Estado Sólido. Destas, a mais interessante é a obra de Cazaux, que contém um conjunto diversificado de problemas cobrindo quase todas as principais áreas da Física do Estado Sólido, à excepção do magnetismo. Há resoluções cuidadas de todas as questões, algumas delas de grau de dificuldade superior, provenientes de provas das “grandes écoles” francesas. A colectânea editada por Goldsmid é uma obra colectiva, cobrindo muitos assuntos, cada qual tratado por um especialista diferente. No seu conjunto, a obra resulta algo desequilibrada, embora

o nível de dificuldade das questões seja alto na maioria dos capítulos. Possui alguns problemas interessantes, nomeadamente sobre estrutura electrónica e magnetismo, todos eles com soluções. Sendo a obra mais antiga, é utilizado o sistema C.G.S., enquanto que nas duas outras colectâneas, bem mais recentes, é utilizado exclusivamente o S.I.. O livro de problemas de Mihaly é o mais recente, mas porventura o menos interessante. A maioria dos problemas são académicos e de solução bastante morosa.

3. Bibliografia especializada

- (a) *Physics of Semiconductor Devices*, M. Shur, 1990. ISBN 0-13-666702-3.
- (b) *Magnétisme et Supraconductivité*, L-P. Lévy, 1997. Interéditions/CNRS Éditions. ISBN 2-7296-0661-0.
- (c) *Magnétisme - I Fondements* T. de Lacheisserie, 1999. Presses Universitaires de Grenoble. ISBN 2-7061-0831-2.
- (d) *Magnétisme -II Matériaux et applications* T. de Lacheisserie, 1999. Presses Universitaires de Grenoble. ISBN 2-7061-0831-2.

Indicam-se aqui quatro obras mais especializadas, mas acessíveis, a que se pode recorrer para esclarecer algum aspecto mais técnico da física dos dispositivos semicondutores, do magnetismo e da supercondutividade.

O livro de Shur é eminentemente técnico, mas com boa ênfase nos princípios físicos. É uma obra volumosa, que cobre praticamente todos os dispositivos semicondutores. As outras três obras são de especialistas franceses. O de L-P. Lévy cobre bem os temas mais recentes do magnetismo como sejam a conjectura de Haldane e a transição de Kosterlitz-Thouless. No que se refere à supercondutividade, podemos encontrar um bom tratamento da interferência quântica em SQUIDS.

Os livros “Magnetism I e II” são, na realidade, uma obra colectiva dos maiores especialistas de magnetismo de Grenoble, prefaciada por L. Néel. São passados em revista todos os temas fundamentais do magnetismo, incluindo aplicações.

• Alguns artigos didácticos altamente recomendáveis

A– Electrões em sólidos

- (A.1) *A simple way to understand the origin of the band structure*, E. Costa, J. Flores, G. Monsivais, *Am. J. Phys.* **56** (1988) 366.
- (A.2) *Calculation of the energy-band structure of the Kronig-Penney model using the nearly-free and tightly bound electron approximations*, G.C. Wetsel, *Am. J. Phys.* **46** (1978) 714.
- (A.3) *Connection between the dispersion relation, surfaces of constant energy and energy bands in solids.*, R. Dalven, *Am. J. Phys.* **44** (1976) 248.

- (A.4) *Electrons in a lattice: a simple computer model*, I.D. Johnston, D. Segal, *Am. J. Phys.* **60** (1992) 600.
- (A.5) *Energy gaps in one-dimensional amorphous materials: a disordered Kronig-Penney model*, *Am. J. Phys.* **51** (1983) 1127.
- (A.6) *Remarks on the manipulation of the Kronig-Penney model for the introduction into the energy-band theory of solids*, H. Lippman, *Am. J. Phys.* **65** (1997) 89.
- (A.7) *Zero energy gaps for deep one dimensional periodic potentials*, S. Tron, J. Smith, *Am. J. Phys.* **48** (1980) 193.
- (A.8) *Model band structure calculations*, A.A. Bahurmuz, P.D. Loly, *Am. J. Phys.* **49** (1981) 675.
- (A.9) *Classical Kronig-Penney model*, U. Oseguera, *Am. J. Phys.* **60** (1992) ????
- (A.10) *Kronig - Penney model: a new solution*, F. Szmulowicz, *Eur. J. Phys.* **5** (1997) 392.
- (A.11) *Effect of boundary conditions on Bloch electrons*, J.N. Churchill, F.E. Holmstrom, *Am. J. Phys.* **50** (1982) 848.
- (A.12) *Zero energy gaps for one-dimensional periodic potentials*, M.W.P. Standberg, *Am. J. Phys.* **50** (1982) 1168.
- (A.13) *The spectra of periodic potentials in finite boxes*, T.M. Kalotas, A.R. Lee, *Eur. J. Phys.* **16** (1995) 119.
- (A.14) *Bound and delocalized electrons in strong magnetic fields*, G.R. Freeman, N.H. March, *Eur. J. Phys.* **12** (1991) 19.
- (A.15) *One-dimensional quantum interference*, T M Kalotas and A R Lee, *Eur. J. Phys.* **12** (1991) 175.
- (A.16) *The Hall effect in cooper: an undergraduate experiment*, C.E. Armentrout, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 781.
- (A.17) *In memorium of J. Jaumann: a direct demonstration of the drift velocity in metals*, W. Klein, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 22.
- (A.18) *The Bloch wave vector and textbooks*, C. Kittel, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 10.
- (A.19) *Band structure of a periodic potential with two wells and two barriers per period*, H.X. Jiang, J.Y. Lin, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 462.
- (A.20) *Exploiting the drift velocity of charge carriers*, G. Galeczki, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 776.
- (A.21) *Note on Kroemer's proof of $\hbar d\mathbf{k}/dt = \mathbf{F}$* , C.L. Cook, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 953.
- (A.22) *Relativistic and non-relativistic Kronig-Penney models*, F. Dominguez-Adame, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 1003.
- (A.23) *Exploiting the drift velocity of charge carriers*, G. Galeczki, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 776.

- (A.24) *Measurements of thermoelectric effects at low temperature*, A.M. Guénault, N.S. Lawson, S.D. Veazey, *Am. J. Phys.* **46** (1978) 399.
- (A.25) *Modern thermocouple experiment*, K.N. Chang, M.S. Cook, K.M. Hamlyn, R.L. Chaplin, *Am. J. Phys.* **46** (1978) 1180.
- (A.26) *Flouquet's theorem and band theory in one dimension*, A. Cottey, *Am. J. Phys.* **39** (1971) 1235.
- (A.27) *Mathieu's functions and electrons in a periodic lattice*, T.R. Carver, *Am. J. Phys.* **39** (1971) 1225.
- (A.28) *Electron energy eigenvalues in an infinite one-dimensional type A-B alloy*, C.T. Wu, R.J. Schwensfeir, Jr., *Am. J. Phys.* **40** (1972) 152.
- (A.29) *Experimental picture of the band formation in a solid*, J.J. Pireaux, R. Caudano, *Am. J. Phys.* **52** (1984) 821.
- (A.30) *A simple procedure for computing density of states spectra in solid state physics*, M. Buchneit, P.D. Loly, *Am. J. Phys.* **40** (1972) 289.
- (A.31) *Computer generated films for solid-state physics*, J.C. Hamilton, J.L. Schwartz, W.A. Bowers, *Am. J. Phys.* **40** (1972) 1657.
- (A.32) *Apparatus for detection of open orbits on the Fermi surface using the induced torque method*, R.J. Kolomeychuk, A.E. Dixon, *Am. J. Phys.* **39** (1971) 643.
- (A.33) *Momentum and pseudo-momentum: I. Classical pseudo-momentum and wave-pressure*, A.B. Pippard, *Eur. J. Phys.* **13** (1992) 82.
- (A.34) *Momentum and pseudo-momentum: II. An electron in a one-dimensional periodic potential*, A.B. Pippard, *Eur. J. Phys.* **13** (1992) 88.
- (A.35) *Contact potentials between metals: history, concepts, and persistent misconceptions*, L.H. Fisher, R.N. Varney, *Am. J. Phys.* **44** (1976) 464.

B– Semicondutores

- (B.1) *Early history of the physics and chemistry of semiconductors-from doubts to fact in a hundred years*, G. Busch, *Eur. J. Phys.* **10** (1989) 254.
- (B.2) *A method to calculate Fermi energy and carrier concentration in semiconductors*, T.K. Gaylord, J.N. Linxwiler, Jr., *Am. J. Phys.* **44** (1976) 353.
- (B.3) *Charge carrier equilibrium in semiconductors according to the mass-action law*, *Am. J. Phys.* **40** (1972) 40.
- (B.4) *Optical transitions and momentum conservation in a one-dimensional crystal*, D.A. Vasquez, *Eur. J. Phys.* **19** (1998) 389.
- (B.5) *Excitons with anisotropic effective mass*, A. Schindlmayr, *Eur. J. Phys.* **18** (1997) 374.
- (B.6) *Justifying the simple diode equation*, M.J. Moloney, *Am. J. Phys.* **54** (1986) 914.

- (B.7) *Einstein and statistical thermodynamics. III. The diffusion-mobility relation in semiconductors*, P. T. Landsberg, *Eur. J. Phys.* **4** (1981) 213.
- (B.8) *Semiconductor quantum dots - towards a new generation of semiconductor devices*, L. Jacak, *Eur. J. Phys.* **21** (2000) 487.
- (B.9) *Integer and fractional quantum Hall effects*, K.I. Wysokinski, *Eur. J. Phys.* **21** (2000) 535.
- (B.10) *Computer simulation of p-n junction devices*, N.S. Rebello, C. Ravipati, D. Zollman, L.T. Escalada, *Am. J. Phys.* **65** (1997) 765.
- (B.11) *Elementary technique to measure the energy band gap and diffusion potential of pn junctions*, C.W. Fischer, *Am. J. Phys.* **50** (1982) 1103.
- (B.12) *Experiments on the physics of the p-n junction*, A. Sconza, G. Torzo, G. Viola, *Am. J. Phys.* **62** (1994) 66.
- (B.13) *Capacitance measurements of p-n junctions: depletion layer and diffusion capacitance contributions*, M.L. Lucia, J.L. Hernandez-Rojas, C. Leon, I Mártíl, *Eur. J. Phys.* **14** (1993) 86.
- (B.14) *Band-gap measurements based upon the behaviour of a p-n junction*, *Eur. J. Phys.* **7** (1986) 49.
- (B.15) *Simple measurement of the band gap in silicon and germanium*, P.J. Coolings, *Am. J. Phys.* **48** (1980) 197.
- (B.16) *Undergraduate experiment: determination of the band gap in germanium and silicon*, L. Kirkup, F. Placido, *Am. J. Phys.* **54** (1986) 918.
- (B.17) *Quick and easy measurement of the band gap in semiconductors*, Y. Canivez, *Eur. J. Phys.* **4** (1983) 42.
- (B.18) *An undergraduate laboratory experiment for measuring the energy gap in semiconductors*, A. Sconza, G. Torzo, *Eur. J. Phys.* **10** (1989) 123.
- (B.19) *Spectroscopic measurement of the semiconductor energy gap*, A. Sconza, G. Torzo, *Am. J. Phys.* **62** (1994) 732.
- (B.20) *A laboratory investigation of light-emitting diodes*, *Am. J. Phys.* **40** (1972) 588.
- (B.21) *Analysis of light-emission processes in light-emitting diodes and semiconductor lasers*, A. M. Ojeda, E. Redondo, G. González Díaz, I Mártíl, *Eur. J. Phys.* **18** (1997) 63.
- (B.22) *A computer-interfaced experiment to measure the electrical resistivity of a semiconductor*, J N Fox, N W Gaggini, *Eur. J. Phys.* **8** (1987) 273.
- (B.23) *A simple apparatus for the measurement of minority carrier lifetime in semiconductors*, A. Sconza, G. Torzo, *Eur. J. Phys.* **6** (1985) 295.
- (B.24) *A simple and instructive version of the Haynes-Shockley experiment*, A. Sconza, G. Torzo, *Eur. J. Phys.* **8** (1987) 34.

- (B.25) *An improved version of the Haynes-Shockley experiment with electrical or optical injection of the excess carriers* A. Sconza, G. Galet, G. Torso, *Am. J. Phys.* **68** (2000) 80.
- (B.26) *Computer-assisted Hall effect measurements as a function of temperature*, A. Parisini, R Reverberi, *Eur. J. Phys.* **4** (1989) 281.
- (B.27) *Temperature dependence of photoconductive decay in sintered cadmium sulphide*, L. Kirkup and I. Cherry, *Eur. J. Phys.* **9** (1988) 64.
- (B.28) *Direct observation of semiconductor diode characteristics*, M.N. Rudden, *Am. J. Phys.* **41** (1973) 122.
- (B.29) *Experiments using a tunnel diode oscillator*, J.N. Fox, J.U. Trefny, *Am. J. Phys.* **43** (1975) 622.
- (B.30) *Temperature dependence of germanium tunnel diode I-V characteristics*, L. Kirkup, S. Wallace, *Eur. J. Phys.* **2** (1987) 93.
- (B.31) *A laboratory experiment with blue light-emitting diodes*, E. Redondo, A. Ojeda, G. Gonzales-Días, I. Mártil, *Am. J. Phys.* **65** (1997) 371.
- (B.32) *Characterization of a bulk semiconductor's band gap via a near absorption edge optical transmission experiment*, J. M. Essick, R.T. Mather, *Am. J. Phys.* **7** (1993) 646.
- (B.33) *Demonstrating the light emitting diode*, D.A. Johnson, *Am. J. Phys.* **63** (1995) 761.
- (B.34) *Solar cells: A laboratory experiment on the temperature dependence of the open-circuit voltage*, A. Khoury, J-P. Charles, J. Charette, M. Fieux, P. Mialhe, *Am. J. Phys.* **52** (1984) 449.
- (B.35) *Laboratory experiments with silicon solar cells*, D. W. Kammer, M. A. Ludington, *Am. J. Phys.* **45** (1977) 602.
- (B.36) *Experimental analysis of I-V characteristics of solar cells*, P. Mialhe, J. Charette, *Am. J. Phys.* **51** (1983) 68.
- (B.37) *Photovoltaic experiment using light from a solar simulator lamp*, R.H. Chow, *Am. J. Phys.* **48** (1980) 48.
- (B.38) *Photovoltaic cell: efficiency of energy conversion*, Y. Kraftmakher, *Eur. J. Phys.* **21** (2000) 159.
- (B.39) *Determination of the dark and illuminated characteristic parameters of a solar cell from I-V characteristics*, I. Martil, G Gonzalez Diaz, *Eur. J. Phys.* **13** (1992) 193.
- (B.40) *Study on diffusion and recombination of minority carriers by the method of photoconductive decay*, R.H. Chow., *Am. J. Phys.* **52** (1984) 842.
- (B.41) *Transistor probe for thermal conductivity*, L.A. du Plessis, *Am. J. Phys.* **50** (1982) 1171.
- (B.42) *Temperature dependence of the emission from red and green light emitting diodes*, J.A. Davis, M.W. Mueller, *Am. J. Phys.* **45** (1977) 770.

- (B.43) *Experiments using a tunnel diode oscillator*, J.N. Fox, J. Trefny, *Am. J. Phys.* **43** (1975) 622.
- (B.44) *Shubnikov-de Haas oscillations in a degenerate semiconductor*, R. Mansfield, *Am. J. Phys.* **46** (1978) 1154.
- (B.45) *Measurement of the band gap in silicon and germanium*, B.D. Sukheeja, *Am. J. Phys.* **51** (1983) 72.
- (B.46) *Undergraduate laboratory experiment: measurement of the complex refractive index and the band gap of a thin film semiconductor*, I. Mártil, G. Gonzalez Diaz, *Am. J. Phys.* **60** (1992) 83.
- (B.47) *A laboratory experiment for DC characterization of p-n devices*, I. Mártil, G. Gonzalez Diaz, *Am. J. Phys.* **12** (1991) 149.
- (B.48) *The sub-threshold behaviour of the MOS field-effect transistor*, *Eur. J. Phys.* **12** (1998) 125.

C– Magnetismo

- (C.1) *Classical and semiclassical magnetism: a critique of treatment in elementary texts*, S.L. O'Dell, R.K.P. Zia, *Am. J. Phys.* **54** (1986) 32.
- (C.2) *Levitation of ordinary diamagnets at room temperature*, G.T. Gillies, *Eur. J. Phys.* **12** (1991) 54.
- (C.3) *The Jahn-Teller effect: an introduction and current review*, M.C.M. O'Brien, C. C. Chancey *Am. J. Phys.* **61** (1993) 688.
- (C.4) *The origin of the molecular field in ferromagnets*, B.R. Coles, *Am. J. Phys.* **65** (1997) 600.
- (C.5) *On a general Heisenberg exchange effective Hamiltonian*, J.A. Blanco, V.M. Prida Pidal, *Eur. J. Phys.* **16** (1995) 195.
- (C.6) *Unified mean-field study of ferro- and antiferromagnetic behaviour of the Ising model with external field.*, E. Vives, T. castán, A. Planes, *Am. J. Phys.* **65** (1997) 907.
- (C.7) *Itinerant band weak ferromagnetism from the Stoner equations*, J.A. Blanco, J. Pisonero, *Eur. J. Phys.* **20** (1999) 289.
- (C.8) *Teaching spontaneous magnetization by using a probability distribution*, J. Guemez, S. Velasco, J.A. White, *Eur. J. Phys.* **12** (1991) 170.
- (C.9) *Discontinuous magnetisation in mean-field theory*, M. Berrondo, S.Y. Larsen, *Eur. J. Phys.* **3** (1989) 205.
- (C.10) *A computer simulation of magnetism*, S.R.P. Smith, G.D. King, *Eur. J. Phys.* **8** (1987) 131.
- (C.11) *A 0.7 mW magnetic heat engine*, P.G. Mattocks, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 545.
- (C.12) *Exact expression for ferromagnetic magnetization in the mean field theory*, M.A.B. Withaker, *Am. J. Phys.* **57** (1989) 45.

- (C.13) *Spin magnetic properties of a one-dimensional tight-binding model at zero-temperature*, R.J. Krantz, T.B. Bahder, *Eur. J. Phys.* **12** (1991) 192.
- (C.14) *A simple demonstration of the Barkhausen effect*, W. Lonc, *Am. J. Phys.* **60** (1992) 860.
- (C.15) *Experiment for studying the properties of a ferromagnetic material.*, R. Sood, R. Kamal, S. Sikri, *Am. J. Phys.* **48** (1980) 481.
- (C.16) *A study of the phase transition of a ferromagnetic material*, J.N. Fox, N. Gaggini, J.K. Eddy, *Am. J. Phys.* **54** (1986) 723.
- (C.17) *Parametric analysis of mean-field ferromagnetic and antiferromagnetic susceptibilities*, Y.T. Millev, M.A.B. Whitaker, *Am. J. Phys.* **63** (1995) 1146.
- (C.18) *Undergraduate laboratory demonstration of aspects of phase transitions using Curie temperature determination in amorphous ferromagnetic materials*, D.G. Fisher, W.T. Franz, *Am. J. Phys.* **63** (1995) 248..
- (C.19) *Experiments on magnetic materials*, C.S. Schneider, J.P. Estel, *Am. J. Phys.* **46** (1978) 820.
- (C.20) *Demonstration of phase transition and properties of metallic glasses for undergraduates*, P.M. Anderson, A.E. Lord Jr, *Am. J. Phys.* **46** (1978) 80.
- (C.21) *A rotary Curie point magnetic engine: a simple demonstration of a Carnot-cycle device*, H. Toftlund, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 48.
- (C.22) *Improvement of the demonstration of the hysteresis loops of ferromagnetic materials*, Y. Meng, Z. Liang, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 933.
- (C.23) *Measuring magnetic properties of ferromagnetic materials* *Am. J. Phys.* **66** (1998) 449.
- (C.24) *Hysteresis in magnetic systems* , B.K. Chatterjee, *Am. J. Phys.* **63** (1995) 643.
- (C.25) *Learning more from electrical resistivity measurements in ferromagnetic metals*, B.F. Rothenstein, C. Tamasdan, R. Baea, *Am. J. Phys.* **55** (1987) 280.
- (C.26) *Skin depth and complex magnetic susceptibility: an experimental alternative approach*, L.O. Juri, V.I, Berkeris, R.G. Steinmann, *Am. J. Phys.* **54** (1986) 836.
- (C.27) *Advanced student experiments in paramagnetism and antiferromagnetism*, R.W. Hill, *Eur. J. Phys.* **3** (1982) 75.
- (C.28) *Undergraduate laboratory experiment to determine the Curie temperature of nickel using a resistance technique*, R.A.L. Sullivan, A. Dunk, P.J. Ford, R.N. Hampton, J.C. Hopkins, *Eur. J. Phys.* **8** (1987) 300.
- (C.29) *Measurement of Curie temperature for gadolinium: a laboratory experiment for students*, T. Lewowski, K. Wozniak, *Eur. J. Phys.* **6** (1997) 453.
- (C.30) *Curie point of ferromagnets*, Y. Kraftmakher, *Eur. J. Phys.* **18** (1997) 448.
- (C.31) *The three-dimensional hysteresis surface for nickel*, G. Barnes, *Am. J. Phys.* **56** (1988) 45.

- (C.32) *Using small, rare-earth magnets to study the susceptibility of feebly magnetic metals*, R.S. Davis, *Am. J. Phys.* **60** (1992) 365.
- (C.33) *A magnetic model for the demonstration of phase transitions and excitations in molecular crystals*, C. Nöldeke, W. Press, A. Hüller, *Am. J. Phys.* **59** (1991) 260.
- (C.34) *An inexpensive, sensitive vibrating sample magnetometer*, S.R. Hoon, *Eur. J. Phys.* **4** (1983) 61.
- (C.35) *A laboratory project on the electrical resistivity of ferromagnetic metals*, P. de V. du Plessis, G.F. Brits, C. Dednma, L. de Koning, K. O'Kennedy, H.J. van Rijn, *Eur. J. Phys.* **3** (1982) 80.
- (C.36) *Landau magnetism: a simple calculation*, A. Dupré, *Am. J. Phys.* **49** (1981) 34.
- (C.37) *An experiment for studying the eleltrival conductivity and its critical behaviour in ferromagnets*, R. Kamal, S. Sikri, B.R. Sood, *Am. J. Phys.* **51** (1983) 631.
- (C.38) *A mutual inductance apparatus for measuring magnetic susceptibility and electrical conductivity* A. Edgar, J.W. Quilty, *Am. J. Phys.* **61** (1993) 943.
- (C.39) *Correlated fermions: a new paradigm in physics on the example og solid-state physics?*

D– Supercondutividade

- (D.1) *Kamerlingh Onnes and the discovery of supercondutivity*, P.H.E. Neijer, *Am. J. Phys.* **62** (1994) 1105.
- (D.2) *The path of no resistance*, B.S. Author, A. Kahurana, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 283.
- (D.3) *On the superconducting sphere in an external magnetic field*, E. Mattute, *Am. J. Phys.* **67** (1999) 786.
- (D.4) *Elementary derivation of the magnetic flux quantum*, F.S. Crawford, *Am. J. Phys.* **50** (1982) 514.
- (D.5) *Magnetic flux quantum: a plausability derivation*, J. Higbie, *Am. J. Phys.* **47** (1979) 655.
- (D.6) *Regarding magnetic flux quantization*, L.D. Firth, *Am. J. Phys.* **48** (1980) 593.
- (D.7) *Regarding magnetic flux quantization: answer to L.D. Firth*, J. Higbie, *Am. J. Phys.* **48** (1980) 593.
- (D.8) *Torsional pendulums and squids*, C. Tong, *Am. J. Phys.* **64** (1996) 1227.
- (D.9) *Quantum mechanical tunneling in an ohmic contact*, J. Crofton, P.A. Barnes, M.Z. Bozack, *Am. J. Phys.* **60** (1992) 499.
- (D.10) *Braking of gauge symmetry: a geometrical view*, K. Moriyasu, *Am. J. Phys.* **48** (1980) 200.
- (D.11) *Gauge invariance and hidden symmetries*, K. Moriyasu, *Am. J. Phys.* **49** (1981) 819.

- (D.12) *Measurement of thermoelectric effects at low temperature*, A.M. Guenault, N.S. Lawson, S.D. Veazey, *Am. J. Phys.* **46** (1978) 399.
- (D.13) *Electromagnetic fields in rotating superconductors*, R. G. Rystephanick, *Am. J. Phys.* **44** (1976) 647.
- (D.14) *Physics of the critical magnetic field in type-II superconductors*, R. Dalven, *Am. J. Phys.* **52** (1984) 1043.
- (D.15) *A coupled angular momentum model for the Josephson junction*, A.L. DiRienzo, R.A. Young, *Am. J. Phys.* **51** (1983) 587.
- (D.16) *Theory of microwave impedance in superconductors and normal metals*, P.J. Walsh, V.P. Tomaselli, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 644.
- (D.17) *Fractional quantum states in superconductors: an electronic simulation*, P.H. Borcherds, D. Glasspoole, C.E. Gough, G.P. McCauley, *Eur. J. Phys.* **9** (1988) 303.
- (D.18) *Novel magnetic phenomena and high temperature superconductivity in lamellar copper oxides*, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 28.
- (D.19) *Superconducting, magnetically levitated merry-go-round*, R.L. Byer, R.F. Begley, G.R. Stewart, *Am. J. Phys.* **42** (1974) 111.
- (D.20) *Nitrogen temperature superconducting ring experiment*, F. Liu, R.R. Tucker, P. Heller, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 143.
- (D.21) *Zero permeability of a high T_c superconductor demonstrated with a piece of cork and some salty water*, S. Reich, *Am. J. Phys.* **56** (1988) 1039.
- (D.22) *Simple demonstration of superconductivity in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$* , G.C. Brown, J.O. Rasure, W.A. Morrisson, *Am. J. Phys.* **57** (1989) 1142.
- (D.23) *Demonstrating superconductivity at liquid nitrogen temperatures*, E.A. Early, C.L. Seaman, N.L. Yang, M.B. Maple, *Am. J. Phys.* **56** (1988) 617.
- (D.24) *Demonstration of possible applications of the Meissner effect of the new high- T_c superconductors*, U. Oseguera, R. Perez, J. Cruz, *Eur. J. Phys.* **12** (1989) 19.
- (D.25) *An inexpensive and easy experiment to measure the electrical resistance of high- T_c superconductors as a function of temperature*, L.M. Léon-Rossano, *Am. J. Phys.* **65** (1997) 1024..
- (D.26) *Superconductivity demonstration*, A.D. Smith and M. Tinkham, *Am. J. Phys.* **48** (1980) 940.
- (D.27) *Rigid levitation and suspension of high-Temperature superconductors by magnets*, E.H. Brandt, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 43.
- (D.28) *Measurement of the transition temperature of a high T_c superconductor*, J.N. Fox, F.A. Rustad, R. W. Smith, *Am. J. Phys.* **56** (1988) 980.
- (D.29) *Quasiequilibrium determination of high T_c superconductor transition temperatures*, M.J. Pechan, J.A. Horvath, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 642.

- (D.30) *A very simple and inexpensive apparatus for detecting superconducting transitions via magnetic screening*, H.G. Lukefahr, V. Priest, K.B. St. Jean, J.S.R. Worley, C.S. Yeader, A. Gajewski, M. B. Maple, *Am. J. Phys.* **65** (1997) 132.
- (D.31) *Simple, inexpensive probe, for resistivity measurements above 77 K on metals and superconductors*, K.G. Vandervoort, J.M. Willingham, G.H. Morris, *Am. J. Phys.* **63** (1995) 759.
- (D.32) *Measuring the interaction force between a high temperature superconductor and a permanent magnet*, S.O. Valenzuela, G.A. Jorge, E. Rodríguez, *Am. J. Phys.* **67** (1999) 1001.
- (D.33) *Superconductivity: a guide to alternating current susceptibility measurements and alternating current susceptometer design*, M. Nikolo, *Am. J. Phys.* **63** (1995) 57.
- (D.34) *Superconductivity in the advanced laboratory*, F. Behroozi, K.R. King, *Am. J. Phys.* **44** (1976) 1187.
- (D.35) *Magnetic behaviour of superconductors: an experiment for the advanced laboratory*, F. Behroozi, *Am. J. Phys.* **51** (1983) 28.
- (D.36) *A superconducting persistent current experiment for an undergraduate laboratory*, W.M. Tiernan, *Am. J. Phys.* **65** (1997) 778.
- (D.37) *Josephson effect in an undergraduate laboratory*, G. Stroink, C. Purcell, B. Blackford, *Am. J. Phys.* **424** (1978) 46.
- (D.38) *A Josephson effect apparatus for the undergraduate laboratory*, B.P. Allen and J.E. Whitehouse, *Eur. J. Phys.* **3** (1982) 136.
- (D.39) *Simple demonstration of the Josephson effect*, I.R. Walker, *Am. J. Phys.* **53** (1985) 445.
- (D.40) *Simple electronic analog of a Josephson junction*, R.W. Henry, D.E. Prober, A. Davidson, *Am. J. Phys.* **49** (1981) 1035.
- (D.41) *Measuring the dc and ac Josephson effect with a simple point contact junction*, D. Kerr, D.A. Zych, *Am. J. Phys.* **43** (1975) 1975.
- (D.42) *A simple direct demonstration of persistent current in a superconducting circuit*, J.R. Rowland, *Am. J. Phys.* **43** (1975) 1105.
- (D.43) *Meissner oscillator*, P.J. Ouseph, *Am. J. Phys.* **57** (1989) 955.
- (D.44) *Functional integrals and the BCS theory of superconductivity*, G. Fletcher, *Am. J. Phys.* **58** (1990) 50.
- (D.45) *How a superconductor supports a magnet, how magnetically "soft" iron attracts a magnet, and eddy currents for the uninitiated*, W.M. Saslow, *Am. J. Phys.* **59** (1991) 16.
- (D.46) *High temperature superconductors: possible health hazards*, R.H. Romer, *Am. J. Phys.* **56** (1988) 966.

- (D.47) *Critical current density of* $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, K.E. Oldenburg, W.M. Morrison, G.C. Brown, *Am. J. Phys.* **61** (1993) 832.
- (D.48) *Resistance measurements as a function of temperature on the high- T_c superconductor* $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, L. Kirkup, *Eur. J. Phys.* **9** (1988) 1.