电磁辐射与加速器束流动力学导论

Introduction to Accelerator Beams, Collective Dynamics, Electromagnetic Radiation and Free-electron Lasers

作者：蔡承颖 (Cheng-Ying Tsai, C.-Y. Tsai)

单位：华中科技大学电气学院

时间：2025 年 1 月

版本：v6.1

特别声明

此笔记/讲义非最终版，内容可能存在笔误、谬误，仍在迭代修改中。此讲义不定期更新。

一些有用的参考书籍与素材

既然作为“讲义”，不是百科全书也不是工具书，就不打算也无法“包山包海”[2]。在这份讲义不够完整的地方，笔者推荐一些目前市面上较经典的几本教科书或讨论特定专题的参考书：

一 电磁理论

- John David Jackson, Classical Electrodynamics, 3rd ed., John Wiley & Sons (1998)
- Julian Schwinger, Lester L. Deraad Jr., Kimball Milton, and Wu-Yang Tsai, Classical Electrodynamics, Perseus Books (1998)
- Charles A. Brau, Modern Problems in Classical Electrodynamics, Oxford University Press (2004)
- Andrew Zangwill, Modern Electrodynamics, Cambridge University Press (2013)
- Richard Feynman, Robert Leighton, and Mathew Sands, The Feynman Lectures on Physics, Volume II, Addison-Wesley Publishing Company (1964). https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_toc.html
- Gennady Stupakov and Gregory Penn, Classical Mechanics and Electromagnetism in Accelerator Physics, Springer (2018). 此书特别针对与粒子加速器相关的经典力学与电磁理论进行介绍。此书可能的勘误列表 http://faculty.hust.edu.cn/jcytsai/zh_CN/article/2191806/content/1492.htm#article

二 加速器物理基础

- Mathew Sands, The Physics of Electron Storage Rings — An Introduction, SLAC-121 (1970). https://www.slac.stanford.edu/pubs/slacreports/reports02/slac-r-121.pdf
- Philip J. Bryant and Kjell Johnsen, The Principles of Circular Accelerators and Storage Rings, Cambridge University Press (1993)
- Alexander Wu Chao, Lectures on Accelerator Physics, World Scientific (2020)
- Alexander Wu Chao, Special Topics in Accelerator Physics, World Scientific (2022)
- Simone Di Mitri, Fundamentals of Particle Accelerator Physics, Springer (2022)
- Shyh-Yuan Lee, Accelerator Physics, 4th ed., World Scientific (2019). https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50490
- Helmut Wiedemann, Particle Accelerator Physics, 4th ed., Springer (2015). https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/23641
- Andrzej Wolski, Beam Dynamics in High Energy Particle Accelerators, Imperial College Press (2014)

[2]此讲义附录 I 给出 CERN CAS 列举的一般课的课程大纲，此讲义内容大概涵盖 80% 以上内容，作为导论应该足够。

- Mario Conte and William M. MacKay, An Introduction to the Physics of Particle Accelerators, 2nd ed., World Scientific (2008)
- Klaus Wille, The Physics of Particle Accelerators, Oxford University Press (2005)
- Edmund Wilson, An Introduction to Particle Accelerators, Oxford University Press (2001). https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/76447
- Donald Edwards and Michael Syphers, An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators, John Wiley & Sons (2004)
- James Rosenzweig, Fundamentals of Beam Physics, Oxford University Press (2003)
- Martin Reiser, Theory and Design of Charged Particle Beams, Second, Updated and Expanded Edition, Wiley-VCH (2008)
- Rob Appleby, Graeme Burt, James Clarke, and Hywel Owen, The Science and Technology of Particle Accelerators, CRC Press (2021). https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/53311
- Martin Berz, Kyoko Makino, and Weishi Wan, An Introduction to Beam Physics, CRC Press (2015). https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50888
- Alex J. Dragt, Lie Methods for Nonlinear Dynamics with Applications to Accelerator Physics. https://www.physics.umd.edu/dsat/dsatliemethods.html
- 金玉明, 电子储存环物理 (修订版), 中国科学技术大学出版社 (2001)
- 刘乃泉, 加速器理论 (第 2 版), 清华大学出版社 (2004)
- 陈佳洱 主编, 加速器物理基础, 北京大学出版社 (2012)

三 同步辐射理论、自由电子激光理论

- Albert Hofmann, The Physics of Synchrotron Radiation, Cambridge University Press (2004)
- Kwang-Je Kim, Zhirong Huang, and Ryan Lindberg, Synchrotron Radiation and Free-Electron Lasers — Principles of Coherent X-Ray Generation, Cambridge University Press (2017). 此书有中文译本：黄森林、刘克新译, 同步辐射与自由电子激光 — 相干 X 射线产生原理, 北京大学出版社 (2018)
- Peter Schmuser, Martin Dohlus, Jorg Rossbach, and Christopher Behrens, Free-Electron Lasers in the Ultraviolet and X-Ray Regime, 2nd ed., Springer (2014)
- Evgeny L. Saldin, Evgeny A. Schneidmiller, and Mikhail V. Yurkov, The Physics of Free Electron Lasers, Springer (1999)
- Toshiyuki Shiozawa, Classical Relativistic Electrodynamics — Theory of Light Emission and Application to Free Electron Lasers, Springer (2004)
- Henry Freund and Thomas Antonsen Jr., Principles of Free Electron Lasers, 3rd ed., Springer (2018)
- Charles A. Brau, Free-Electron Lasers, Academic Press, Inc. (1990)
- Thomas C. Marshall, Free-Electron Lasers, Macmillan Publishing Company (1985)

- 刘祖平, 同步辐射光源物理引论, 中国科学技术大学出版社 (2009)
- 贾启卡, 自由电子激光物理导论, 科学出版社 (2022)
- David Attwood and Anne Sakdinawat, X-rays and Extreme Ultraviolet Radiation: Principles and Applications, 2nd ed., Cambridge University Press (2016)

四 集体效应理论

- Alexander Wu Chao, Physics of Collective Beam Instabilities in High Energy Accelerators, John Wiley & Sons (1993). https://www.slac.stanford.edu/~achao/wileybook.html
- King-Yuen Ng, Physics of Intensity Dependent Beam Instabilities, World Scientific (2005)
- Bruno W. Zotter and Semyon A. Kheifets, Impedances and Wakes in High-Energy Particle Accelerators, World Scientific (1998)
- Shaukat Khan, Collective Phenomena in Synchrotron Radiation Sources: Prediction, Diagnostics, Countermeasures, Springer (2006)
- J.C. Bergstrom, Jack's Book — On Beam Instabilities and Other Things (2016)

五 束流量测与诊断

- Michiko G. Minty and Frank Zimmermann, Measurement and Control of Charged Particle Beams, Springer (2003). https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50057
- Peter Strehl, Beam Instrumentation and Diagnostics, Springer (2006)
- Smaluk Victor, Particle Beam Diagnostics for Accelerators: Instruments and Methods, VDM Verlag Dr. Muller (2009)

六 工具书

- Alexander Wu Chao, Karl Hubert Mess, Maury Tigner, and Frank Zimmermann ed., Handbook of Accelerator Physics and Engineering, 3rd. ed., World Scientific (2023)
- Graham Woan, The Cambridge Handbook of Physics Formulas, Cambridge University Press (2000)

七 高等数学基础

- Jon Mathews and R.L. Walker, Mathematical Methods of Physics, Addison-Wesley (1970)
- George B. Arfken, Hans J. Weber, and Frank E. Harris, Mathematical Methods for Physicists, 7th ed., Elsevier (2013)
- Philip M. Morse and Herman Feshbach, Methods of Theoretical Physics, McGraw-Hill Book Company, Inc. (1953)
- 郑志军、虞吉林编著, 应用数学 — 分析过程和摄动方法, 中国科学技术大学出版社 (2023)

此外，在几乎万能的网际网路世界也能找到许多关于粒子加速器的许多的素材，包含科普、教学、综述、科研类的文献。以下列举一些推荐网页：

- 科普：粒子加速器对人类社会在方方面面的应用 ⇒ http://www.accelerators-for-society.org/ 里面有许多关于粒子加速器的科普介绍，包含科学、环境、能源、国防安全、工业、医学等面向。
- 教学：CERN Yellow Report ⇒ https://cds.cern.ch/collection/CERN%20Yellow%20Reports?ln=en 包含许多珍贵的、媲美教科书的加速器基础教程。
- 教学：美国粒子加速器学校 (U.S. Particle Accelerator School, USPAS) ⇒ https://uspas.fnal.gov/ 里面有最新办学信息，还有许多过去加速器学校的上课讲义、材料等。此外，早期由美国物理联合会 (American Institute of Physics, AIP) 出版的会议记录文集中，有几卷包含了丰富、珍贵的加速器会议记录，其中许多是长篇教程、前沿综述等：
  - AIP Conference Proceedings No. 57: Nonlinear Dynamics and the Beam-Beam Interaction (BNL, 1979). https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/57/1
  - AIP Conference Proceedings No. 87: The Physics of High Energy Particle Accelerators (Fermilab, 1981). https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/87/1
  - AIP Conference Proceedings No. 105: The Physics of High Energy Particle Accelerators (SLAC, 1982). https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/105/1
  - AIP Conference Proceedings No. 127: The Physics of Particle Accelerators (BNL/-SUNY, 1983). https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/127/1
  - AIP Conference Proceedings No. 153: The Physics of Particle Accelerators (Fermilab, 1984 & SLAC, 1985). https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/153/1
  - AIP Conference Proceedings No. 184: The Physics of Particle Accelerators (Fermilab, 1987 & Ithaca, N.Y. 1988). https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/184/1
  - AIP Conference Proceedings No. 249: The Physics of Particle Accelerators (Upton, N.Y. 1989). https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/249/1
  - High Quality Beams — Joint US-CERN-JAPAN-RUSSIA Accelerator School, AIP Publishers, 2001. https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/592/1

  Springer 也出版了一些关于粒子束讲义：
  - Lecture Notes in Physics No. 247: Nonlinear Dynamics Aspects of Particle Accelerators, Springer-Verlag Publishers, 1985. https://link.springer.com/book/10.1007/BFb0107342
  - Lecture Notes in Physics No. 296: Frontiers of Particle Beams, Springer-Verlag Publishers, 1986. https://link.springer.com/book/10.1007/BFb0031487
  - Lecture Notes in Physics No. 343: Frontiers of Particle Beams; Observation, Diagnosis and Correction, Springer-Verlag Publishers, 1988. https://link.springer.com/book/10.1007/BFb0018278

- Lecture Notes in Physics No. 400: Frontiers of Particle Beams: Intensity Limitations, Springer-Verlag Publishers, 1990. https://link.springer.com/book/10.1007/3-540-55250-2
- Lecture Notes in Physics No. 425: Frontiers of Particle Beams: Factories with e^+ e^- Rings, Springer-Verlag Publishers, 1992. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-13972-1

自由电子激光理论早期进展的一些文献 — PQE[3] — 也具有借鉴意义：

- Physics of Quantum Electronics, Vol. 5: Novel Sources of Coherent Radiation, Addison-Wesley, 1978.
- Physics of Quantum Electronics, Vol. 7: Free-Electron Generators of Coherent Radiation, Addison-Wesley, 1979.
- Physics of Quantum Electronics, Vol. 8: Free-Electron Generators of Coherent Radiation, Addison-Wesley, 1981.
- Physics of Quantum Electronics, Vol. 9: Free-Electron Generators of Coherent Radiation, Addison-Wesley, 1981.

- 科研：物理评论 — 加速器与束物理 (Physical Review Accelerators and Beams, PRAB) ⇒ https://journals.aps.org/prab/ 一个业内高度认可、标准的加速器物理与工程期刊。此外，在 1970 至 2000 年期间，“粒子加速器”(Particle Accelerator, PA) 期刊也享誉盛名，尽管现在不再出版，但当时的论文已全部归档，全文链接 ⇒ https://cds.cern.ch/record/229735?ln=en。
- 科研：核仪器与方法 (Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, NIM) ⇒ https://www.sciencedirect.com/journal/nuclear-instruments-and-methods-in-physics-research-section-a-accelerators-spectrometers-detectors-and-associated-equipment 也是一个业内标准的加速器期刊，包含探测器与核技术应用等。
- 科研：联合加速器会议网 (Joint Accelerator Conferences Website, JACoW) ⇒ https://www.jacow.org/ 收录许多过去举办的国际加速器会议与会议论文，也有即将举办的会议信息。
- 综述：2008 年至 2019 年间，由 World Scientific 出版的年刊“加速器科学与技术回顾”(Reviews of Accelerator Science and Technology, RAST) https://www.worldscientific.com/worldscinet/rast 按十个主题收录了加速器各领域目前最新进展，具有借鉴意义。
  1. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 1: Overview, World Scientific (2008) 总览
  2. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 2: Medical Applications of Accelerators, World Scientific

[3] https://www.pqeconference.com/pqe-history

(2009) 医疗应用

3. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 3: Accelerators as Photon Sources, World Scientific (2010) 先进光源
4. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 4: Accelerator Applications in Industry and the Environment, World Scientific (2011) 工业与环境应用
5. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 5: Applications of Superconducting Technology to Accelerators, World Scientific (2012) 超导技术
6. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 6: Accelerators for High Intensity Beams, World Scientific (2013) 强流加速器
7. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 7: Colliders, World Scientific (2014) 对撞机
8. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 8: Accelerator Applications in Energy and Security, World Scientific (2015) 能源与国家安全应用
9. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 9: Technology and Applications of Advanced Accelerator Concepts, World Scientific (2016) 先进加速器技术与应用
10. Alexander Wu Chao and Weiren Chou ed., Reviews of Accelerator Science and Technology — Vol. 10: The Future of Accelerators, World Scientific (2019) 加速器的未来

目录

0 几个术语、惯例、基础知识与单位制转换 1

0.1 几个术语 . . . 3
0.2 惯例 . . . 9
0.2.1 $j=-i$ . . . 9
0.2.2 $2\pi, \sqrt{2\pi}$ . . . 9
0.2.3 $q, e, -e, e^{(\cdots)}$ . . . 16
0.3 基础知识 . . . 18
0.4 单位、量纲、物理常数 . . . 24
0.5 单位制转换 . . . 26
0.6 数量级的前缀词 . . . 31
0.7 基础高等数学练习题 . . . 32
第 零 章 补充习题 . . . 33

第一部分 时变电磁场、电磁辐射理论 36

1 电磁场基础：复习 37

1.0 问答预览 . . . 37
1.1 基本方程 . . . 40
1.1.1 静电场基本方程 . . . 45
1.1.2 恒定电场基本方程 . . . 48
1.1.3 静磁场或恒定磁场基本方程 . . . 49
1.1.4 电磁场分界面边界条件 . . . 51
1.2 无源电磁场方程 . . . 54
1.3 趋肤效应 . . . 57
1.3.1 浅谈：超导体的电磁特性 . . . 61
1.4 位函数 . . . 64
1.5 电磁场能量守恒定律 . . . 70
1.6 求解电磁波方程：思路 . . . 76
1.7 求解电磁波方程：波动问题 . . . 77
1.8 求解电磁波方程：波形问题 . . . 79
1.9 电磁波定向传播的几个类型 . . . 83
1.10 波速 . . . 86
1.11 电磁波的偏振：极化 (polarization) . . . 90
1.11.1 在 EUV/X 射线波段，物质折射率小于、但非常接近 1 . . . 95
1.12 波导 . . . 97

1.12.1 波导的激励 . . . 109
1.13 谐振腔 . . . 111
1.13.1 真实谐振腔形状 . . . 119
1.14 金属加速结构的梯度极限：击穿 . . . 123
1.15 谐振腔微扰理论：Slater 定理 . . . 126
1.16 四向量的洛伦兹变换 . . . 129
1.17 电、磁场的洛伦兹变换 . . . 131
1.18 相对论多普勒效应 . . . 132
1.19 康普顿散射 . . . 134
1.19.1 逆康普顿散射 . . . 135
1.19.2 激光与电子交互作用：定性介绍 . . . 135
1.19.3 激光波荡器 . . . 136
1.20 镜像法求解电磁场问题 . . . 138
1.20.1 镜像电荷法 . . . 138
1.20.2 镜像电流法 . . . 141
1.21 电磁超材料 . . . 144
1.21.1 如何构造超材料? . . . 146
1.22 定向电磁波的高斯束模型 . . . 149
1.23 二维静场问题分析 — 复变函数应用 . . . 155
1.23.1 基本定义与定理 . . . 155
1.23.2 留数定理 ⇒ 安培环路定理、磁场高斯定律 . . . 158
1.23.3 保角映射 . . . 160
1.23.4 平行板电容器边缘场问题 . . . 166
1.23.5 浅谈：史密斯图 . . . 168
1.24 浅谈：为什么 Maxwell 电磁理论这么难? . . . 171
第 一 章 补充习题 . . . 173

2 电磁辐射的基础理论 180
2.0 问答预览 . . . 180
2.1 推迟条件 . . . 182
2.2 Lienard-Wiechert 场 . . . 185
2.2.1 粒子匀速运动产生的场 $\dot{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{0}$、$\mathbf{E}(t) \parallel \mathbf{r}_b$ . . . 188
2.2.2 推导：Lienard-Wiechert 场 . . . 191
2.3 Jefimenko 公式与 Heaviside-Feynman 公式 . . . 195
2.4 浅谈：生活中的电磁辐射 . . . 197
2.4.1 天然辐射 . . . 197
2.4.2 人工辐射 . . . 197
2.4.3 生活中电磁辐射的量化与对人体的影响 . . . 198

第二章 补充习题 200

3 电磁辐射的定量理论：功率、能量、谱 201

3.0 问答预览 201

3.1 Lienard-Wiechert 场的频域表示 203

3.1.1 关于 Lienard-Wiechert 场的几点讨论 203

3.1.2 相对论粒子加速运动产生的场的一般结果 203

3.2 辐射功率、辐射能量、角分布 207

3.3 横向、纵向加速 212

3.3.1 横向加速 212

3.3.2 偶极辐射 215

3.3.3 纵向加速 219

3.3.4 浅谈：波瓣、定向性、天线增益 222

3.4 电子加速器的几种电磁辐射机制：定性介绍 224

3.4.1 契伦科夫辐射 (Cherenkov radiation) 224

3.4.2 渡越辐射 (transition radiation) 226

3.4.3 Smith-Purcell 辐射 227

第三章 补充习题 230

4 同步辐射 231

4.0 问答预览 232

4.1 同步辐射的定性讨论 234

4.1.1 同步辐射张角 $\theta \approx \frac{1}{\gamma}$ 234

4.1.2 同步辐射特征频率 $\omega_c \approx \frac{3c\gamma^3}{2\rho}$ 234

4.1.3 同步辐射由横向水平极化主导 $P_\sigma : P_\pi \approx 7:1$ 238

4.1.4 同步辐射是量子力学效应，不是经典力学效应 238

4.2 同步辐射的定量讨论 241

4.3 一些计算细节 243

4.4 一些辐射物理量的分布函数 249

4.4.1 同步辐射功率 频谱 角 分布 249

4.4.2 同步辐射功率 频谱 分布 252

4.4.3 同步辐射功率 角 分布 255

4.4.4 同步辐射 偏振 或 极化 分布 255

4.4.5 同步辐射 光量子 分布 257

4.4.6 讨论：中心极限定理 258

4.5 辐射形成长度 (formation length) 261

4.6 整理：同步辐射实用公式 265

第四章 补充习题 268

5 波荡器辐射 269
5.0 问答预览 . . . 269
5.1 四代光源大致进展 . . . 270
5.2 波荡器辐射的定性讨论 . . . 272
5.2.1 共振条件 $\lambda_1 = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2}\left(1+\frac{K_u^2}{2}+\gamma^2\theta^2\right)$ . . . 273
5.2.2 波荡器辐射像甩动的探照灯，谱宽 $\frac{\Delta\omega}{\omega_1} \approx \frac{1}{N_u}$ . . . 277
5.2.3 平面型波荡器是线偏振主导 . . . 277
5.3 波荡器辐射的定量讨论 . . . 280
5.4 一些辐射物理量的分布函数 . . . 283
5.4.1 $K_u \leq 1$ 波荡器辐射功率 频谱 角 分布 . . . 283
5.4.2 $K_u \leq 1$ 波荡器辐射功率 角 分布 . . . 284
5.4.3 $K_u \leq 1$ 波荡器辐射功率 频谱 分布 . . . 287
5.4.4 $K_u \leq 1$ 波荡器辐射功率 光量子 分布 . . . 288
5.4.5 $K_u \geq 1$ 波荡器辐射分析的两个区别 . . . 290
5.4.6 $K_u \geq 1$ 波荡器辐射功率 频谱 角 分布 . . . 290
5.4.7 $K_u \geq 1$ 波荡器辐射功率 角 分布、形成长度 . . . 292
5.5 整理：波荡器辐射实用公式 . . . 295
第 五 章 补充习题 . . . 297

第二部分 单粒子动力学、自由电子激光导论 299

6 粒子加速器基础：综述与哈密顿力学基础 300
6.0 问答预览 . . . 300
6.1 经典力学理论：拉格朗日量、哈密顿量 . . . 302
6.2 相空间与 Liouville 定理 . . . 306
6.3 正则变换 . . . 311
6.3.1 作用量-角度变换 . . . 317
6.4 磁刚度 $B\rho$ 与 Frenet-Serret 坐标系 . . . 321
6.4.1 Frenet-Serret 坐标系向量运算 . . . 325
6.5 加速器哈密顿量 . . . 326
6.6 浅谈：电路理论的力学观点 . . . 329
第 六 章 补充习题 . . . 333

7 粒子加速器基础：束流光学 — 横向 335
7.0 问答预览 . . . 336
7.1 几种常见的磁铁部件 . . . 338
7.1.1 真空漂移段 . . . 338
7.1.2 二极铁 . . . 338
7.1.3 四极铁 . . . 339

7.1.4 六极铁 . . . 344
7.1.5 螺线管 . . . 350
7.1.6 磁铁的磁场强度极限：饱和、磁滞 . . . 354
7.2 Hill 方程 . . . 358
7.3 Courant-Snyder 参量、Twiss 参量 . . . 366
7.4 传输矩阵概念初探 . . . 375
7.4.1 浅谈：光学的 ABCD 传输矩阵 . . . 382
7.5 发射度：一个加速器中重要的物理量 . . . 385
7.6 几种常见的磁聚焦结构单元 . . . 394
7.7 非参考粒子的几种效应的分类 . . . 399
7.8 传输矩阵 — Case 1 . . . 401
7.9 闭轨畸变、共振 — Case 2 . . . 412
7.9.1 非线性动力学问题基本思想 . . . 422
7.10 色散、色品 — Case 3 . . . 425
7.11 一个用来衡量储存环横向磁聚焦结构设计的物理量：动力学孔径 . . . 440
7.11.1 动量孔径 . . . 444
第 七 章 补充习题 . . . 445

8 电子纵向动力学与同步辐射效应 451
8.0 问答预览 . . . 452
8.1 几个描述粒子纵向运动的物理量 . . . 454
8.1.1 讨论：z, s, ct 与束团头部尾部粒子符号惯例 . . . 465
8.2 同步加速器稳相原理与纵向动力学 . . . 467
8.2.1 高次谐波腔、双 RF 系统 . . . 486
8.3 同步辐射经典效应：辐射阻尼 . . . 491
8.3.1 纵向 . . . 492
8.3.2 横向：y . . . 496
8.3.3 横向：x . . . 498
8.3.4 讨论：阻尼是一种束团冷却效应 . . . 508
8.4 同步辐射量子效应 . . . 510
8.4.1 纵向 . . . 511
8.4.2 横向：x . . . 514
8.4.3 横向：y . . . 515
8.4.4 讨论：量子激发效应的另一种分析方式 . . . 521
8.5 波荡器、扭摆器辐射的效应 . . . 523
8.6 加速器中的粒子如何加速 . . . 525
8.6.1 直线加速器 . . . 525
8.6.2 环形同步加速器 . . . 529

8.6.3 能量回收型直线加速器 . . . 531
8.6.4 加速元件的简化传输矩阵表示 . . . 534
8.6.5 浅谈：从直线加速器到同步加速器的注入与引出 . . . 535
8.7 整理：常见磁铁部件的六维线性传输矩阵 . . . 538
8.7.1 浅谈：光学的 Kostenbauder 传输矩阵 . . . 543
8.8 储存环的纵向逐圈跟踪方程 . . . 546
8.9 一个电子储存环自然发射度的定标定律 . . . 548
8.10 电子同步辐射加速器进展 . . . 552
第 八 章 补充习题 . . . 559

9 多粒子电磁辐射 564
9.0 问答预览 . . . 564
9.1 线性叠加原理与形成因子 . . . 565
9.1.1 纵向 . . . 565
9.1.2 横向 . . . 566
9.1.3 相干辐射谱 . . . 568
9.2 同步辐射脉冲形成长度 . . . 572
9.2.1 纵向 . . . 572
9.2.2 横向 . . . 573
9.3 电子束与多粒子电磁辐射束的物理图像 . . . 574

10 自由电子激光理论 576
10.0 问答预览 . . . 576
10.1 激光原理 . . . 578
10.1.1 激光器的几个性能指标 . . . 583
10.2 自由电子辐射：不同波段可调谐辐射源 . . . 585
10.2.1 自由电子激光 vs. 相干波荡器辐射 . . . 601
10.2.2 辐射产生的另一种视角：能量、动量守恒 . . . 601
10.3 三种工作模式与几个重要输出指标 . . . 605
10.3.1 比较：传统激光 vs. 自由电子激光 . . . 611
10.3.2 浅谈：一维 FEL 基本方程组推导思路 . . . 612
10.4 低增益 FEL . . . 614
10.4.1 浅谈：[JJ] . . . 622
10.5 高增益 FEL：一维 . . . 625
10.5.1 浅谈：增益过程电子束与辐射场的相位差 . . . 631
10.6 回顾：三种工作模式 . . . 633
10.6.1 SASE . . . 633
10.6.2 FEL 放大器 . . . 636
10.6.3 FEL 振荡器 . . . 636

10.7 高增益 FEL：三维 640
10.7.1 衍射效应、增益引导效应 641
10.7.2 有限发射度、有限角散效应 644
10.7.3 电子横向 betatron 振荡效应 646
10.7.4 谢明公式 648
10.8 低增益 FEL：三维与其它效应考虑 651
10.8.1 平衡或饱和过程 651
10.8.2 光学谐振腔稳定性条件 652
10.8.3 振荡器设计思路与定标定律 656
10.8.4 FEL 延滞: 一种滑移效应 659
10.8.5 饱和输出特性估算 660
10.9 高增益 FEL 谐波产生与全相干方案 661
第 十 章 补充习题 680

第三部分　多粒子动力学与集体效应　683

11 集体效应的场动力学：尾场与阻抗　684
11.0 问答预览 685
11.1 定性介绍 687
11.1.1 平均场近似 687
11.1.2 微扰理论 688
11.1.3 追赶长度 691
11.1.4 “三无”定理 694
11.2 空间电荷场 695
11.2.1 束内散射效应与 Touschek 效应 702
11.2.2 浅谈：结晶束 708
11.3 有限电导率圆柱金属真空管的电磁场计算 710
11.3.1 电阻壁阻抗尾场计算的实用公式 715
11.3.2 浅谈：金属管壁的电导率、反常趋肤效应与表面阻抗 716
11.3.3 浅谈：同步加速器的金属真空管样貌 724
11.4 圆柱谐振腔的电磁场计算 726
11.5 尾场 732
11.5.1 基本定义 732
11.5.2 特性 737
11.5.3 讨论：尾场加速 740
11.6 阻抗 745
11.6.1 基本定义 745
11.6.2 同步条件 747

11.6.3 Panofsky-Wenzel 定理 . . . 748
11.6.4 特性 . . . 751
11.7 尾场与阻抗公式 . . . 757
11.7.1 一个近似、有用的集总化模型 — 等效 RLC 模型 . . . 757
11.7.2 类腔结构的阻抗估算 . . . 762
11.7.3 几何光学近似分析 . . . 774
11.7.4 尾场与阻抗模型公式 . . . 775
11.7.5 能量损耗因子 . . . 802
11.7.6 有效阻抗 . . . 806
11.8 关于宽带阻抗模型的更多讨论 . . . 809
11.9 关于尾场定义的更多讨论 . . . 813
第 十一 章 补充习题 . . . 815

12 集体效应的粒子动力学：宏粒子模型 819
12.0 问答预览 . . . 819
12.1 粒子加速器集体不稳定性年代表 . . . 821
12.2 束流负载基本定理 . . . 822
12.3 几种常见的束团不稳定性 . . . 824
12.3.1 束团崩溃不稳定性 . . . 824
12.3.2 罗宾逊不稳定性 . . . 827
12.3.3 强头尾不稳定性 . . . 841
12.3.4 头尾不稳定性 . . . 844
12.3.5 耦合束团不稳定性 . . . 850
12.4 浅谈：反馈模型 . . . 852
12.4.1 转移函数 . . . 852
12.4.2 等效阻尼率 . . . 855
12.5 浅谈：粒子运动方程的集体效应驱动项该用集总模型或分散模型? . . . 858
第 十二 章 补充习题 . . . 861

13 集体效应的粒子动力学：Vlasov 方程 862
13.0 问答预览 . . . 862
13.1 无碰撞动理学方程 . . . 864
13.2 线性化 Vlasov 方程：零阶分析 . . . 873
13.3 线性化 Vlasov 方程：一阶分析 . . . 880
13.4 积分方程：思路一 . . . 881
13.4.1 单次经过加速器微束团不稳定性 . . . 884
13.5 色散方程：思路二 . . . 887
13.5.1 讨论：朗道积分 . . . 887
13.5.2 Keil-Schnell 条件 . . . 890

13.5.3 储存环微束团不稳定性 . . . 892
13.6 模式分解：思路三 . . . 895
13.6.1 微波不稳定性 . . . 898
13.7 三种思路的比较 . . . 901
13.8 几种常见的束团不稳定性：分类与半定量讨论 . . . 903
13.8.1 势阱畸变效应 . . . 904
13.8.2 微波不稳定性 . . . 905
13.8.3 基于相空间模式分解的讨论 . . . 906
13.8.4 头尾不稳定性 . . . 908
13.8.5 耦合束团不稳定性 . . . 911
13.8.6 电阻壁不稳定性 . . . 914
13.8.7 离子导致的集体不稳定性 . . . 916
13.8.8 自由电子激光不稳定性 . . . 918
13.9 讨论：复频率的实部与虚部 . . . 919
13.10浅谈：横向不稳定性的“四维”Vlasov 分析 . . . 921
第 十三 章 补充习题 . . . 923

第四部分 三个专题与束测原理 926

14 兆伏、超快电子束动力学 927
14.0 问答预览 . . . 927
14.1 泵浦-探测：一种研究物质结构的技巧 . . . 929
14.2 超快电子成像平台概述 . . . 932
14.2.1 浅谈：电子散射、晶体衍射 . . . 933
14.2.2 电子束亮度 . . . 942
14.2.3 兆伏超快电子衍射：总论 . . . 945
14.3 MeV UED 组成单元 . . . 946
14.3.1 MeV UED 束线 . . . 946
14.3.2 激光系统 . . . 948
14.3.3 射频系统：光阴极电子枪、加速腔 . . . 950
14.3.4 传输段 . . . 954
14.3.5 束测元件 . . . 958
14.3.6 样品室 . . . 965
14.3.7 衍射成像系统 . . . 966
14.4 MeV UED 总体设计参数 . . . 967
14.4.1 激光系统 . . . 967
14.4.2 束流动力学：初始主体物理参数与仿真结果 . . . 973
14.4.3 束流动力学：暗电流仿真与评估 . . . 975

14.4.4 射频光阴极电子枪附近的发射度增长因素与估算 979
14.5 射频光阴极高亮度电子动力学 983
14.5.1 单粒子动力学 983
14.5.2 雪茄型或松饼型 988
14.5.3 1.4-cell 或 1.6-cell 989
14.5.4 光阴极电荷上限 989
14.5.5 几个实用公式 990
14.6 空间电荷切片束矩阵 993
14.6.1 RF 腔传输矩阵 996
14.6.2 空间电荷传输矩阵 $\Rightarrow 7\times 7$ 空间电荷传输矩阵 997
14.6.3 整体束团与切片束团的分与合 999
14.7 空间电荷束包络方程 1002
14.8 Kapchinsky-Vladimirsky (KV) 分布 1005
14.9 空间电荷效应主宰的束动力学与几个定标定律 1011
第 十四 章 补充习题 1015

15 相干同步辐射 1016
15.0 问答预览 1017
15.1 定性描述 1019
15.1.1 “场”观点 1019
15.1.2 “粒子”观点 1019
15.2 一维模型 1023
15.2.1 Case A 1026
15.2.2 Case B 1029
15.2.3 Case C 1032
15.2.4 Case D 1034
15.2.5 一维稳态与暂态 CSR 尾场 1036
15.3 数值算例 1040
15.4 一维模型的几个结果 1042
15.4.1 讨论：辐射阻抗函数的一种计算方法 1051
15.4.2 讨论：非相干同步辐射的切片发射度与切片能散增加 1052
15.5 研究现状总论 1055
15.6 二维 CSR 模型研究动机与现况 1059
第 十五 章 补充习题 1065

16 高亮度电子微束团动力学 1066
16.0 问答预览 1066
16.1 高亮度电子束：双面刃 1067
16.2 单次经过加速器的微束团不稳定性理论 1068

16.2.1 比拟：一种“速调管”放大器 1068
16.2.2 积分方程 1070
16.2.3 四弯铁磁压缩结构的微束团不稳定性 1076
16.2.4 研究现状总论 1084
16.2.5 浅谈：不同信号类型的频域描述 1090
16.3 储存环微束团不稳定性理论 1093
16.3.1 两种观点 1093
16.3.2 色散方程 1095
16.3.3 特征方程 1098
16.3.4 数值求解 Vlasov-Fokker-Planck 方程 1099
16.3.5 研究现状总论 1100
16.4 稳态微聚束：一种崭新的电子储存环高平均功率、相干辐射源 1102
16.4.1 总论 1102
16.4.2 两类可能的方案与工作原理 1105
16.4.3 激光-电子束交互作用 1107
16.4.4 研究现状总论 1110
16.4.5 浅谈：面向极紫外光刻应用的相干光源 1110
第 十六 章 补充习题 1115

17 加速器束测基础原理 1116
17.0 问答预览 1116
17.1 束团时频信号 1118
17.1.1 时域：库仑场、辐射场 1118
17.1.2 频域：束流频谱 1118
17.2 零阶矩：电流、电荷 1127
17.2.1 电流 1127
17.2.2 电荷 1128
17.3 一阶矩：位置、到达时间 1130
17.3.1 位置 1130
17.3.2 到达时间 1132
17.3.3 能量 1133
17.4 二阶矩：发射度、能散、束长 1135
17.4.1 横向尺寸：束流截面测量 1135
17.4.2 发射度 1138
17.4.3 束长 1143
17.4.4 能散 1146
17.5 其它物理量 1147
17.5.1 横向 betatron 振荡频率 1147

17.5.2 纵向同步振荡频率 1147
17.5.3 动量紧缩因子 1148
17.5.4 束流损失 1148
17.5.5 Courant-Snyder 函数 1148
17.5.6 色散函数 1149
17.5.7 色品函数 1149
17.5.8 动力学孔径 1150
17.5.9 阻抗函数 1151
17.5.10 电子束纵向分布 1154
17.6 加速器反馈系统 1155

第五部分 附录 **1158**

A 杨振宁先生对加速器领域的看法 **1159**

B 数学基础 **1161**
B.1 三种正交坐标系的向量微积分与坐标变换 1161
B.2 常用向量恒等式、微分运算 1166
B.3 偏微分、全微分、对流导数、莱布尼兹法则、费曼积分技巧 1173
B.4 δ 函数、留数定理、常用积分公式、三角函数恒等式、双曲函数恒等式 . 1175
B.4.1 δ 函数 1175
B.4.2 留数定理 1178
B.4.3 一些与三角函数相关的特殊积分 1181
B.4.4 一些常用积分公式 1182
B.4.5 三角函数、双曲函数恒等式 1187
B.5 其它恒等式、特殊函数、近似展开公式、级数求和公式 1189
B.6 几种常见分布函数的定义 1210
B.7 矩阵的一些实用特性 1212
B.7.1 矩阵相关性 1213
B.7.2 矩阵特征分解 1214
B.7.3 高维矩阵的基本介绍 1216
B.8 归一化完备基底函数展开特性 1220
B.9 一元代数方程的一般解公式 1224
B.10 时间平均定理 1225
B.11 矩阵指数 1226
B.12 二阶偏微分方程的分类与解法 1228

C 目前正在设计、建设或运行的电子加速器参数 1232
C.1 直线加速器 . . . 1232
C.2 常温、光阴极、射频电子枪的典型参数 . . . 1233
C.3 自由电子激光 . . . 1234
C.4 同步辐射储存环 . . . 1235
C.5 能量循环/回收直线加速器 . . . 1241
C.6 对撞机 . . . 1242

D 电磁频谱 1245

E Livingston 图 1246

F 粒子加速器对人类社会在方方面面的应用 1247

G 符号表 1251

H 部分教科书使用惯例比较 1257

I CERN 加速器学校课程大纲 1259

J 加速器学家小传 1275
J.1 Helmut Wiedemann — 温文儒雅、受崇敬的加速器专家 . . . 1275
J.2 Shyh-Yuan Lee — 加速器人才树木园 . . . 1277
J.3 Klaus Halbach — 世界级加速器磁铁专家 . . . 1278
J.4 Rodolfo Bonifacio — 经典与量子自由电子激光先驱 . . . 1279
J.5 Kaoru Yokoya — 直线加速的成功道路 . . . 1281
J.6 Kwang-Je Kim — 细推物理须行乐，何用浮名绊此生 . . . 1283
J.7 John Madey — 第一位实现自由电子激光器的科学家 . . . 1284
J.8 Claudio Pellegrini — 高增益自由电子激光不稳定性 . . . 1285
J.9 Albert Josef Hofmann — 同步辐射理论大师 . . . 1286
J.10 John Paul Blewett — 几乎为首位见证同步辐射的人之一 . . . 1287
J.11 Alexander Wu Chao — 加速器百科全书 . . . 1289
J.12 Kenneth Robinson — 谦逊孤独，卓越天才 . . . 1290
J.13 Yaroslav Derbenev — 西伯利亚蛇 . . . 1292
J.14 Ernest Orlando Lawrence — 回旋加速器的发明者 . . . 1293
J.15 Ernest David Courant — 虎父无犬子、横向强聚焦发明者 . . . 1294
J.16 Hartland Sweet Snyder — 横向强聚焦发明者、黑洞共同发现者 . . . 1295
J.17 Milton Stanley Livingston — 横向强聚焦发明者、Livingston 图 . . . 1296
J.18 Edwin McMillan — 纵向稳相原理提出者 . . . 1297
J.19 Wolfgang Panofsky — SLAC 首任主任 . . . 1298
J.20 Robert Wilson — 费米实验室首任主任 . . . 1299

J.21 Gersh Budker — “相对论”的工程师 1300
J.22 Bruno Touschek — 世界上第一台对撞机 AdA 建造者 1301
J.23 Matthew Sands — 费曼物理学讲义、SLAC-121 1303
J.24 Simon van der Meer — 随机冷却机制的发明者 1304
J.25 Nikolay Vinokurov — “OK” 1305
J.26 Lawrence Jackson Laslett — 低调卓越、洞见非凡 1306
J.27 Franklin James Sacherer — 攀岩与物理的双绝英才 1307
J.28 Michael David Borland — ELEGANT 1308
J.29 Robert Siemann — PRST-AB 1309
J.30 方守贤 — 中国高能加速器事业的开拓者和奠基人 1310

索　引

2×2 transfer matrix
  elements, 401
  elements, cavity, 534
  stability, 405
2π, $\sqrt{2\pi}$ convention, 9
6×6 transfer matrix
  elements, 538
[JJ], 622
δ function, 1175
δ_{mn} function, 1175
$\mathcal{H}$ function, 436
i, j convention, 9, 54
$[\mathrm{JJ}]_h$ factor, 296

ABCD matrix, 381
Accelerator Driven Systems, 1248
accelerator Hamiltonian $\mathcal{H}$, 327
action-angle transform, 317, 422
adiabatic damping, 387
ADTS, amplitude-dependent tune shift, 481
Airy function, 1195
Alfven current, 881
alternating-gradient focusing, 360
analytic continuation, 888
analytic function, definition, 155
anomalous dispersion, 87
anomalous Doppler effect, 133
anomalous magnetic moment, 1133
anomalous skin effect, 59, 715, 721
APS beamline, 556

BBGKY hierarchy, 309
BCS surface resistance, 63
beam breakup instability, 903
beam breakup, BBU, 825
beam matrix $\boldsymbol{\Sigma}$, 388
beam rigidity $B\rho$, 321
beam rigidity $E^a\rho$, 321
beam transfer function (BTF), 854, 1153
Beer-Lambert law, 720
Bessel function, 1176, 1189, 1191, 1220
betatron, 174
betatron resonance, 420
Beth representation, 346
blow-out regime, 988
blowout regime, 1004
BNS damping, 825
booster synchrotron, 529
bore radius, 343
Boussard criterion, 891
Bragg condition, 936
Bragg peak, 1249
Bragg's law, 936
breakdown rate (BDR), RF, 124
brightness, 548
  collider, 684
  electron beam, 4D, 943
  electron beam, 5D, 942
  radiation, 586
broadband-narrowband substitution, 878
bunch compression factor, 464
bunch-by-bunch feedback system, 850
bunching factor
  complete random phase, 636
  definition, 1-D, 565
  definition, 1-D continuum, 882, 1071
  definition, 1-D, ensemble average, 625
  definition, 3-D, 567
Busch theorem, 956

Campbell theorem, 511
canonical transformation
  generating functions, 312
Cardano formula, 1224

Carlson's elliptic integral, 997
catch-up distance, 693, 813
Cauchy principal value, 1180
Cauchy theorem, 156
Cauchy's integral formula, 156, 1179
Cauchy-Riemann condition, 155, 347
causality, 732
    Einstein causality, 732
    finite-speed causality, 182, 732
    local causality, 732
    Newtonian causality, 732
    relativistic causality, 182, 732
cavity
    circular cylindrical modes, 112
    Landau cavity, 486, 706, 707
    pillbox cavity TM_{010}, 117
    quality factor Q, 114
    rectangular modes, 111
    RF breakdown, 123
    shunt impedance R_S, 116
    Slater theorem, 126
    TE,TM,E,H mode definition, 83
Cayley-Hamilton theorem, 1215
central limit theorem, CLT, 259, 294
Chao-Gareyte scaling law, 906
Cherenkov acceleration, 744
Cherenkov radiation, 224
    inverse Cherenkov radiation, 229, 597
chicane, 465
    CSR-induced microbunching gain formula, 1080
    optics, 1077
Child-Langmuir law, 990
chirp, 461
chirped pulse amplification (CPA), 465
Cholesky decomposition, 1000
chromatic frequency ω_ξ, 808
chromatic frequency ω_ξ, 435, 845
chromaticity ξ, 430
    different conventions, 430
cigar vs. pancake, 1004
classical radius of electron, 215
closed orbit distortion, COD, 412
closed-loop transfer function, 852
coasting beam, 439, 881, 905, 1070
    unbunched beam, 480
coherence
    longitudinal, 589
    transverse, 590
coherence length
    longitudinal, laser, 590
    transverse, electron beam, 948
    transverse, laser, 590
coherent synchrotron radiation (CSR)
    Case A, 1026
    Case B, 1028
    Case C, 1032
    Case D, 1034
    CSR-induced microbunching gain formula, chicane, 1080
    CSR-induced microbunching gain formula, general, 1082
    definition, wake function, 1025
    incoherent, see synchrotron radiation, 1025
    overtaking distance, 1040
    parallel-plate impedance, 1044
    point-kick model, 1049
    slippage distance, 1038
    steady-state impedance, 1042
    steady-state wakefield, 1036
    suppression conditions, 1055
collective effects
    beam breakup, BBU, 825
    CSR, 1045
    definition, 689
    dispersion equation, coasting beam, 887,

1095
fast beam-ion instability, 916
fundamental theorem of beam loading, 822
Haissinski equation, 875
head-tail instability, 848
ion trapping instability, 916
kick factor $\kappa_\perp$, 804
Landau damping, 1076
longitudinal mode coupling instability, 898
loss factor $\kappa_\parallel$, 804
microbunching instability, 1074
microwave instability, 898
negative mass instability, 905
potential well distortion, PWD, 874
resistive wall instability, 914
Robinson instability, 832
Sacherer integral equation, 896
space charge
beam dynamics, 993
field dynamics, 695
strong head-tail instability, 843
transverse microwave instability, 843
transverse mode coupling instability, TMCI, 843
turbulent instability, 896
Volterra integral equation, 882
compression factor, 464
Compton scattering effect, 134
inverse, 135
conductivity, AC, 58, 716
conductivity, DC, 58, 716
configuration space (x, y), 326
confluent hypergeometric function, 1197
conformal mapping, 160, 165
Schwarz-Christoffel mapping, 165
Smith chart, 168
Constants, 24
constitutive relation $\mathbf{D}(\mathbf{E})$, $\mathbf{H}(\mathbf{B})$, 41
CGS units, 173
convention
2π, $\sqrt{2\pi}$, 9
Δz, $\Delta\tau$, $\Delta\phi$, 466
i, j, 9, 54
k, Γ, 9, 57, 77
z, s, ct and bunch head vs. tail, 465
capacitive, inductive, 746
convolution theorem (faltung theorem), 11
Z-transform, 838
cooling
coherent electron cooling, 508
electron cooling, 508
laser cooling, 508
stochastic cooling, 508
Cornu spiral, 770, 1181
corrector, 415
correlation function
auto-correlation, 589
convolution, 593
cross-correlation, 593
cosine integral, 1181
Coulomb field, 695
Coulomb gauge, 66
coupled bunch instability, 764, 808, 850, 903
coupled bunch mode, 911
Courant-Snyder parameters, 367
critical angle, 94
cross section, 934
differential, 933
cryogenic temperatures, 341
crystalline beam, 708
cyclotron frequency ω_c, 354

dark current, 978
Fowler-Nordheim formula, 978
Darwin width, 663
Dawson function, 1185
de Moivre formula, 54

de Moivre theorem, 378, 379
Debye length
    longitudinal, 695
    transverse, 695
Debye-Waller model, 940
delta function, 1175
    Kronecker, 1175
Derbenev criterion, 1038
diamagnetic $\mu_r < 1$, 42
dielectric linear accelerator, DLA, 740
differential cross section, 933
diffusion, 260, 418
    anomalous diffusion, 260
    sub-diffusion, 260
    super-diffusion, 260
dipole radiation, 215, 217
direct product, 1217
direct sum, 1218
dispersion equation
    1-D high-gain FEL, 626
    microbunching instability, 887
    Robinson instability, 840
dispersion function D, η, R_{16}, 425
    comparison, 436
distribution
    δ-function, 1210
    bi-Lorentz, 1210
    elliptical, 1210
    Gaussian, 1210
    Lorentz, 1210
    normal, 1210
    parabolic, 1210
    rectangular, 1210
    tri-elliptical, 1210
    triangular, 1210
    water-bag, 1210
distribution width $\Delta\omega$, 1211
Doppler effect, 132, 234
    anomalous, 133
dose, 198
Drude model, 58, 716
Drude-Lorentz model, 716
dual-energy storage ring, 1115
dynamic aperture, 440, 913

Earnshaw's theorem, 452, 479
effective impedance, 807
elliptic functions, 1201
elliptic integrals, 1197
elliptic theta function $\vartheta_3(u, q)$, 914
emittance
    beam, 386
    beam's vs. lattice's, 368, 1142
    bulk vs. slice, 390, 1000
    coupling κ, 517
    geometric ϵ, 387
    longitudinal, 485
    natural ϵ, 387
    normalized ϵ_N, 387
    photon, 574
    single-particle, 374
    statistical definition, continuous distribution, 389
    statistical definition, discrete distribution, 390
emittance compensation, 981
energy acceptance, 442, 480, 706, 707
energy recovery linac, ERL, 531
energy spread
    correlated, bulk, 461
    incoherent, uncorrelated, slice, 461
ensemble, 306
ergodic hypothesis, 385
error function, 1184
    complementary, 1184
    complex, 1184
    imaginary, 1184

Euler-Lagrange equation, 304
evanescent wave, 77, 104, 228
Ewald sphere, 942
exponential integral, 1181
extraction, 535

factorial function, 1207
    double, 1207
Faddeeva function, 1185
faltung theorem, 11
fast beam-ion instability, 916
fast head-tail instability, 903
FEL instability, 918
    wakefield approach, 918
FEL parameter, 610
Fermi velocity, 720
Ferrari formula, 1224
ferromagnetic $\mu_r \gg 1$, 42
Feynman diagram, synchrotron radiation, 239
Feynman's integration trick, 1173
Feynman-Heaviside formula, 195
first recurrence map, 374
fixed point, 475
    attractor, repellor, 475
    SFP, UFP, 475
fixed-field alternating gradient (FFAG), 361
Floquet transformation, 362
flux, 548, 586
formation length
    synchrotron radiation, longitudinal, 261, 572
    synchrotron radiation, transverse, 261, 573
    undulator radiation, longitudinal, 293
    undulator radiation, transverse, 293
    wake function, 693
Fourier transform
    convolution theorem, 11
    definition, 9
    Parseval theorem, 11, 207
    properties, 12
    sine transform, cosine transform, 10
Fowler-Nordheim formula, 978
Fraunhoffer diffraction, 769
free-electron laser (FEL)
    1-D $(2N+1)$ equations, 607
    1-D high-gain, 626
    3-D high-gain, guiding effect, 642
    ADM, 675
    amplifier, 636
    DEHG, 677
    EEHG, 668
    group velocity, 629
    HGHG, 667
    inverse FEL, 597, 744
    iSASE, 663
    lethargy, 659
    low-gain pendulum equation, 614
    Madey theorem, 619
    Ming Xie fitting formula, 648
    oscillator, FELO, 636
    PEHG, 672
    phase velocity, 629
    Pierce parameter, 610
    resonance condition, 599, 661
    SASE, 633
    self-seeding, 661
    sideband instability, 635
    storage ring, 1235
Frenet-Serret coordinate
    calculus, 325
    definition, 323
    left-hand vs. right-hand, 327
frequency map analysis, 442
Fresnel diffraction, 769
Fresnel integrals, 770, 1181
fundamental theorem of beam loading, 822

gain guiding, 642

Gamma function, 1195
Gauss divergence theorem, 1166
ghost imaging, 593
globatron, 321
Goos-Hanchen effect, 94
Gouy phase, 153, 263, 368
Gram-Schmidt process, 85
Green's theorem, 1166
group velocity, 86
gyro-frequency, 354

H function, 436
Hadamard product, 1217
Haissinski integral equation, 875
Halback formula, 275
Hamilton's equations of motion, 305
Hamiltonian $\mathcal{H}$
    definition, 304
    integrable, 424, 474
    KAM theorem, 424
    quasi-integrable, 424
    torus, tori, 319, 474
harmonic cavity, 486, 706, 707
harmonic number h, 476
head-tail instability, 848, 903
Heaviside step function, 1194
Heaviside-Feynman formula, 195
Helmholtz equation
    frequency domain, 57
    time domain, 64
Helmholtz theorem, 1167
Hermite polynomial, 1221
higher harmonic cavity, HHC, 486, 706, 707
Hill equation, 362
hourglass effect, 1242
Huygens principle, 64
hypergeometric function, 1196
    confluent, 1197
hysteresis, 354

image charge method, 138
image current method, 141
Imbert-Fedorov effect, 94
impedance
    broadband, 765
    cavity resonator, 745
    CSR, 780, 1042, 1044
    dimensionality, 746
    impedance function $\mathcal{Z}_{\|}$, $\mathcal{Z}_{\perp}$, 800
    impedance function $Z_{\|}$, $Z_{\perp}$, 745, 800
    LSC, 777
    LSC, low frequency, 745
    order of magnitude estimate, 763
    periodic structure, 781
    resistive wall, ASE, 723, 782
    resistive wall, NSE, 745
    RLC, 757
    step-in, step-out, 811
    tables, 784
impedance budget, 802
index of refraction, 92
    critical angle, 94
    metamaterial, 145
    x-ray, 95
injection, 535
    emittance convention, 387
    off-axis vs. on-axis, 535
    single-turn vs. multi-turn, 535
    swap-out injection, 535
    top-up injection, 535
injector scaling, 1012
intrabeam scattering, IBS, 702
inverse Cherenkov acceleration, 744
inverse Compton scattering, 135
inverse Smith-Purcell acceleration, 744
ion trapping instability, 916
IOTA, Integrable Optics Test Accelerator, 440
isochronous, 464

Jacobi-Anger identity, 666, 1189
Jacobian matrix, 317
Jefimenko formula, 195
JJ factor, 622
JJ_h factor, 296
Jordan's lemma, 16
Joule's law of heating, 48

Keil-Schnell criterion, 890
Keil-Schnell-Boussard criterion, 891
kick factor $\kappa_\perp$, 804
Kilpatrick limit, 124
Kolmogorov–Arnold–Moser (KAM) theorem, 424
Kostenbauder matrix, 381, 543
Kramers-Kronig relation, 595, 753
Kronecker delta function, 1175
Kummer function, 1197

Lagrangian L
  definition, 304
Landau cavity, 486, 706, 707
Landau damping, 713, 1076
  loss of Landau damping, 1075
Landau's contour method, 887
Landau's prescription, 888
Langevin equation, 521
Laplace transform
  definition, 14
  Landau contour, 887
  properties, 14
Larmor frequency ω_L, 354
Larmor radius, 354
laser ablation, 941
laser heater, 1084
laser resonator stability, 653
laser undulator, 136, 275, 600
laser wakefield acceleration, LWFA, 740
laser-electron modulation, 663
Laslett tune shift, 920
lattice
  DBA, TBA, MBA, 394
  FODO, 394
  FODO, properties, 408, 434
Laue condition, 936
Laurent series, 157
Lawson-Woodward theorem, 743
Legendre polynomial, 1220
Leibniz Rule, 1173
length contraction, 6
Leontovich boundary condition, 60, 710, 721
lethargy, 659
Lie operator, 314
Lienard-Wiechert formula
  frequency-domain, 205
  time-domain, 185, 204
linear acceleration, 525
  standing-wave structure, 526
  traveling-wave structure, 525
Liouville theorem, 309, 864
  ensemble, 306
Livingston plot, 1246
local momentum aperture, 444
longitudinal coupled bunch instability, 903
longitudinal mode coupling instability, 898, 903
Lorentz force equation, 41
  CGS units, 173
Lorentz relativistic factor
  conversion, 21
  definition, 4
Lorentz transformation
  E, **B**, 131
  coordinate, 5
  Doppler effect, 132
  Doppler effect, anomalous, 133
  four-vector, 129
  length contraction, 6

space-time, 129
time dilation, 6
Lorenz gauge, 66
loss factor $\kappa_{\|}$, 804
loss of Landau damping, 1075
loss tangent $\tan\delta$, 55
luminosity, 684
lumped vs. distributed model, 358, 858

Madey theorem, 619
magnet
bore radius, 343
combined-function, 341
dipole, 338
quadrupole, 339
room-temperature vs. superconducting, 340
sextupole, 344
skew quadrupole, 340
solenoid, 352
strength, 345
magnetic hysteresis, 354
magnetization currents, 50
magnetized beam, 956, 1088
magnetizedbeam, 988
Mathieu equation, 362
Mathieu function, 362
matrix exponential, 1226
matrix properties, 1214
rank, 1213
Maxwell equations
boundary conditions, 51, 65
CGS units, 173
covariant form, 130
electrostatics, 45
free space, 40
magnetostatics, 49
material, 42
Maxwell-Klimontovich equations, 918
mean free path, 719
mean transverse kinetic energy, MTE, 943
Meissner effect, 62
metamaterial, 144
metamaterial $\mu_r < 0$, 42
method of steepest descent, 1206
microbunching instability, 903
Microbunching instability (MBI)
bunched beam, storage ring, 898
coasting beam, single-pass, 882
coasting beam, storage ring, 887
formula, chicane, 1080
formula, general, 1082
klystron analogy, 1068
laser heating, 1084
model comparison, 901
suppression conditions, 1084, 1087
microwave instability, 898, 903
Ming Xie fitting formula, 648
mirror symmetry, 379
mismatch parameter B_{mag}, 1142
Mobius accelerator, 377
Mobius transform, 168, 383
momentum compaction factor α_c, R_{56}, 454
Moore's law, 1111
moving screen method, 1140
multi-bunch mode, 911
multipacting, 123

NAFF, 442
narrowband-broadband substitution, 878
NEG, non-evaporable getter, 553
negative mass effect, 460
negative mass instability, 905
Newton's law vs. radiation reaction, 690, 826
nonlinear resonance, 422, 475
normal dispersion, 87
numerical aperture, 968, 1113
Nyquist theorem, 1125

optical guiding, 642
orthogonal expansion, 1220

P.V., definition, 1180
Pade approximant, 1205
pancake vs. cigar, 1004
Panofsky-Wenzel theorem, 749
paramagnetic $\mu_r > 1$, 42
parametric resonance, 422, 475
parasitic energy loss, 829
paraxial approximation, 327
paraxial wave equation, 150, 248, 773
Parseval theorem, 11, 207
particle sources, 1068
PDE, 1228
    boundary condition, 1229
    Dirichlet condition, 1229
    elliptical, 1228
    homogeneous vs. inhomogeneous, 1228
    hyperbolic, 1228
    initial condition, 1229
    Neumann condition, 1229
    parabolic, 1228
    Robin condition, 1229
    solution technique, 1230
pepper-pot method, 1139
phase advance ψ, 373
phase space (x, p_x), 307, 326
phase velocity, 86
photoinjector scaling, 1012
photon emittance, 574
Pierce parameter, 610
plasma frequency, 59, 719
    index of refraction, 92
    plasma oscillation, 779
plasma wakefield acceleration, PWFA, 740
Poincare map, 374
Poincare section, 374
point-kick model, see CSR, 1049
Poisson bracket, 313
Poisson noise, 635
Poisson sum formula, 827, 1118, 1176
polarization, 90
polarization charges, 47
ponderomotive acceleration, 744
ponderomotive motion, 136, 597
population inversion, 578
potential well distortion, PWD, 829, 873, 874, 903
power spectral density, 1090
Poynting theorem, 72
Poynting vector, 70
principle of longitudinal phase stability, 467

quadrupole scan method, 1140
quality factor Q, 114
    coupling coefficient, 115
    loaded, external, 115

radiation
    dipole, electric, 217
    dipole, magnetic, 217
    multipole, 219
    quadrupole, 219
radiation reaction vs. Newton's law, 690, 826
radiation shielding, 264, 569, 1038
ramp function, 1194
ramping, booster, 529
ramping, linac, 525
rank, 1213
Rayleigh length, Rayleigh range, 151, 262, 640
RDT, resonance driving term, 422
rectangular function, 1177
Residual Resistance Ratio (RRR), 722
residue theorem, 157, 1178
resistive wall instability, 764, 850, 914
resonance, 416
    difference resonance, 420

nonlinear, 422
order, 420
parametric, 422
RDT, resonance driving term, 422
sum resonance, 420
resonator
circular cylindrical modes, 112
pillbox cavity TM_{010}, 117
quality factor Q, 114
rectangular modes, 111
RF breakdown, 123
shunt impedance R_S, 116
Slater theorem, 126
TE,TM,E,H mode definition, 83
retardation condition, 67, 182
RF breakdown, 123, 740
figure of merit, 124
Kilpatrick limit, 124
RF breakdown rate (BDR), 124
RFQ, radio-frequency quadrupole, 451, 1005
RFQM, radio-frequency quadrupole magnet, 451, 826, 1005
Riemann-Lebesgue lemma, 15
RLC circuit model, 757
mechanics view, 329
Robinson instability, 832, 903
DC, 835
dispersion equation, 830, 840
secular equation, 830, 840
Robinson sum rule $\sum_{i=x,y,z} \mathcal{J}_i = 4$, 504
rocking curve, 663

Sacherer integral equation, 896
Sacherer mode coupling theory, 837, 897
saddle-point method, 1206
sagitta, 402
Schottky effect, 943, 980
Schroedinger equation, 933
secular equation, 830, 1215
Shintake monitor, 1136
shot noise, 635, 942
shunt impedance R_S, 116, 736, 757
simple harmonic oscillator, SHO, 302
sinc function, 1177
sine integral, 1181
single-particle emittance, 374, 497
single-particle equations
single-pass accelerator, 437
storage ring, 439
skin effect, anomalous, 721
skin effect, skin depth, 59, 715
Slater theorem, 126
slippage factor $\eta = \alpha_c - \frac{1}{\gamma^2}$, 457
Smith chart, 168
Smith-Purcell acceleration, 744
Smith-Purcell radiation, 227
inverse Smith-Purcell radiation, 229, 597
Snell's law, 92
Sokhotski-Plemelj theorem, 755, 888, 1180
solid angle, 70, 208
space charge
beam dynamics, 993
definition, 695
direct space charge field, 696
envelope equation, 1003
field dynamics, 695
indirect space charge field, 138, 696
perveance, 997, 1008
special functions
Airy function, 1195
Bessel function, 1176, 1191, 1220
Dirac delta function, 1175
Gamma function, 1195
Hermite polynomial, 1221
Legendre polynomial, 1220
modified Bessel function, 1189
spectral fluence, 211

spectral flux, 548, 586
spiral curve, 236
split-ring resonator (SRR), 147, 961
stability boundary diagram, 1153
stability condition
  1-D, 2×2, 405
  n-D, $2n \times 2n$, 407
stable fixed point, SFP, 475
steady-state microbunching, SSMB, 1102
Steinmetz's equation, 356
Stirling's formula, 1207
Stokes curl theorem, 1166
storage-ring FEL, 1235
strong focusing, 360
strong head-tail instability, 843, 903
structure factor, 936
substitution, narrowband $\leftrightarrow$ broadband, 878
superconductor, 61
surface impedance, 61, 710, 716, 721, 722
surface plasmon polariton, 228
surface resistivity, 60
Sv, 198
symplectic condition, 317, 406
synchro-betatron coupling, 497
synchrotron
  energy ramping, 529
  mapping equation, 546
synchrotron oscillation
  low-gain FEL, 616
  storage ring, 479
synchrotron radiation
  bunch form factor, 566, 1154
  coherent, see coherent synchrotron radiation, 1025
  damping, 492
  damping partition number $\mathcal{J}_{x,y,z}$, 504
  energy-momentum conservation, 601
  Feynman diagram, 239
  formation length — longitudinal, 261, 572
  formation length — transverse, 262, 573
  opening angle, 234
  practical formula, 265
  properties, 247
  quantum correction, 248
  quantum excitation, 510
  quantum lifetime, 520
  radiation integrals $\mathcal{I}_{1,2,3,4,5,6}$, 494
  shielding, 264, 569, 1038
  slice emittance growth, 1052
  slice energy spread increase, 1052

telescope, 380
theoretical minimum emittance, TME, 549
theta function $\vartheta_3(u, q)$, 914
Thomas-BMT equation, 1133
Thomson scattering, 135
time dilation, 6
TMCI (transverse mode coupling instability), 843
total internal reflection, 94
Touchard polynomial, 1209
Touschek effect, 695, 706
trace space (x, x'), 326
transit time factor, 527
transition γ_t, 457
transition crossing, 458, 482
transition radiation, 226
  inverse transition radiation, 229, 597
transparent, 380
transverse deflecting cavity, TDC, 963
transverse gradient undulator, TGU, 672
transverse microwave instability, 843, 903
transverse mode coupling instability, TMCI, 843, 903
tune ν, 373
  betatron tune $\nu_{x,y}$, 373, 473
  synchrotron tune ν_s, 373, 480

tune diagram, 420
tune shift, 416, 422
    ADTS, amplitude-dependent tune shift, 481
    complex, 919
tune spread, 919
turbulent instability, 896, 903
Twiss parameters, 367
two-temperature model, TTM, 941

unbunched beam, 905
undulartor
    in-vacuum, 270
    out-of-vacuum, 270
undulator
    laser, 136
undulator radiation
    formation length — longitudinal, 293
    formation length — transverse, 293
    practical formula, 295
    properties, 281
    resonance condition, 274, 585
Unit & Dimensionality, 24
Unit conversion table
    numeric, 29
    symbolic, 26, 27
unit impulse function, 1175
unstable fixed point, UFP, 475

Van de Graaff accelerator, 173
variation of constants, 428
Vlasov equation, 308, 866
    stationary solution, 867
    transient solution, 869
Vlasov-Fokker-Planck equation, 866
Vlasov-Maxwell equations, 918
Volterra integral equation, 882, 1074
vortex beam, 956, 1088

wakefield
    broadband, 765
    catch-up distance, 693, 813
    CSR, 780, 1025, 1036, 1040
        Derbenev criterion, 1038
    cylindrical cavity, 726
    dimensionality, 736
    No-wake theorem, 694
    order of magnitude estimate, 763
    resistive wall, 710
    RLC, 758
    space charge, 695
    vs. electric field, 736
    wake function $W_{\parallel}, W_{\perp}$, 732
    wake potential $V_{\parallel}, V_{\perp}$, 734
    wakefield $\mathcal{W}_{\parallel}, \mathcal{W}_{\perp}$, 734, 800
wakefield acceleration, 740
water-bag distribution, 1009
waveguide
    band, 97
    circular cylindrical mode plots, 106
    circular cylindrical modes, 105
    rectangular mode plots, 104
    rectangular modes, 100
    TE,TM,E,H mode definition, 83
weak focusing, 360
Weizsacker-Williams approximation, 702
Wideroe's condition, 174
Wiener-Khinchin theorem, 594, 1092
Wigner distribution, 393
Wronskian, 428

Xie Ming fitting formula, 648

Z-transform, 838

加速器物理学家
    Blewett, John Paul (1910-2000), 加拿大, 231, 1159, 1287
    Bonifacio, Rodolfo (1940-2016), 意大利, 626, 1279

Budker, Gersh Itskovich (1918-1977), 俄国, 508, 1300
Chao, Alexander Wu (1949-), 美国, 732, 1102, 1289
Christofilos, Nicholas Constantine (1916-1972), 希腊, 360, 1159
Colson, William (1944-), 美国, 615
Courant, Ernest David (1920-2020), 美国, 360, 367, 1294
Davidson, Ronald Crosby (1941-2016), 加拿大, 994
Derbenev, Yaroslav (1940-), 俄国/美国, 1038, 1292
Fang, Shouxian (1932-2020), 中国, 1310
Gluckstern, Robert L. (1924-2008), 美国, 773
Haissinski, Jacques (1935-), 法国, 875
Halbach, Klaus (1924-2000), 美国/德国, 1278
Hofmann, Albert Josef (1933-2018), 瑞士, xi, 1286
Kim, Kwang-Je (1944-), 美国, 1283
Laslett, Lawrence Jackson (1913-1993), 美国, 920, 1306
Lawrence, Ernest Orlando (1901-1958), 美国, 1159, 1293
Lawson, John David (1923-2008), 英国, 770, 994
Livingston, Milton Stanley (1905-1986), 美国, 360, 1159, 1296
Madey, John M.J. (1943-2016), 美国, 583, 1284
McMillan, Edwin Mattison (1907-1991), 美国, 1297
Ng, King-Yuen (1949-), 美国, 731
Orlov, Yuri Fyodorovich (1924-2020), 俄国, 505
Panofsky, Wolfgang Kurt Hermann (1919-2007), 德国/美国, 1298
Pellegrini, Claudio (1935-), 意大利/美国, 1285
Piwinski, Anton (1934-), 德国, 702
Reiser, Martin (1931-2011), 美国, xi
Robinson, Kenneth (1925-1979), 美国, 505, 1290
Sacherer, Franklin James (1940-1978), 美国, 896, 1307
Saldin, Evgeny L. (1951-), 俄国, 1068
Sands, Matthew Linzee (1919-2014), 美国, xi, 1303
Sessler, Andrew Marienhoff (1928-2014), 美国, 1076
Shintake, Tsumoru (1955-), 日本, 1136
Siemann, Robert H. (-2008), 美国, 1309
Snyder, Hartland Sweet (1913-1962), 美国, 360, 367, 1295
Symon, Keith Randolph (1920-2013), 美国, 362
Touschek, Bruno (1921-1978), 奥地利, 706, 1301
Twiss, Richard Quintin (1920-2005), 英国, 367
Vaccaro, Vittorio Giorgio (1941-2023), 意大利, 746
Van de Graaff, Robert Jemison (1901-1967), 美国, 173
van der Meer, Simon (1925-2011), 荷兰, 508, 1304
Vinokurov, Nikolay Aleksandrovich (1952-), 俄国, 1305
Wideroe, Rolf (1902-1996), 挪威, 174
Wiedemann, Helmut (1938-2020), 美国, xi, 1275
Wilson, Robert Rathbun (1914-2000), 美国, 1299
Xie, Ming (1959-2004), 中国, 648

Yokoya, Kaoru (1947-), 日本, 1281

数学家

de Moivre, Abraham (1667-1754), 法国, 54
Arnold, Vladimir Igorevich (1937-2010), 俄国, 424
Bessel, Friedrich Wilhelm (1784-1846), 德国, 1220
Cardano, Gerolamo (1501-1576), 意大利, 54, 1224
Cauchy, Baron Augustin-Louis (1789-1857), 法国, 1179
Cayley, Arthur (1821-1895), 英国, 1215
de Moivre, Abraham (1667-1754), 法国, 379
Euler, Leonhard (1707-1783), 瑞士, 54, 304
Ferrari, Lodovico de (1522-1565), 意大利, 1224
Floquet, Achille Marie Gaston (1847-1920), 法国, 362
Fourier, Jean-Baptiste Joseph (1768-1830), 法国, 9
Gauss, Carl Friedrich (1777-1855), 德国, 40, 54, 1166
Green, George (1793-1841), 英国, 64, 735, 998, 1166
Hamilton, William Rowan (1805-1865), 爱尔兰, 304, 1215
Heaviside, Oliver (1850-1925), 英国, 195
Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand (1821-1894), 德国, 57
Hermite, Charles (1822-1901), 法国, 1221
Hoene-Wronski, Jozef Maria (1776-1853), 波兰, 428
Jacobi, Carl Gustav Jacob (1804-1851), 德国, 311, 666
Jordan, Marie Ennemond Camille (1838-1922), 法国, 16
Khinchin, Aleksandr Yakovlevich (1894-1959), 俄国, 594
Kolmogorov, Andrey Nikolaevich (1903-1987), 俄国, 424
Lagrange, Joseph-Louis (1736-1813), 法国, 304
Laplace, Pierre-Simon (1749-1827), 法国, 14, 40, 76
Laurent, Pierre Alphonse (1813-1854), 法国, 157
Lebesgue, Henri Leon (1875-1941), 法国, 15
Legendre, Adrien-Marie (1752-1833), 法国, 1220
Leibniz, Gottfried Wilhelm (1646-1716), 英国, 1173
Lie, Marius Sophus (1842-1899), 挪威, 314
Liouville, Joseph (1809-1882), 法国, 309
Lorenz, Edward Norton (1917-2008), 美国, 66
Mathieu, Emile Leonard (1835-1890), 法国, 362
Moser, Jurgen Kurt (1928-1999), 德国/美国, 424
Pade, Henri Eugene (1863-1953), 法国, 1205
Parseval, Marc-Antoine (1755-1836), 法国, 11, 207
Poincare, Jules Henri (1854-1912), 法国, 374
Poisson, Simeon Denis (1781-1840), 法国, 44
Riemann, Georg Friedrich Bernhard (1826-1866), 德国, 15
Stokes, George Gabriel (1819-1903), 爱尔兰, 1166

Volterra, Vito (1860-1940), 意大利, 882
Wessel, Caspar (1745-1818), 挪威-丹麦, 54
Wiener, Norbert (1894-1964), 美国, 594
数量级
储存环磁聚焦结构函数, 436
电子储存环时间尺度, 507
自由电子激光空间尺度, 650
物理学家
Ampere, Andre-Marie (1775-1836), 法国, 40
Bardeen, John (1908-1991), 美国, 63
Beth, Richard Alexander (1906-1999), 美国, 346
Biot, Jean-Baptiste (1774-1862), 法国, 40
Bloch, Felix (1905-1983), 美国, 362, 1278
Bohr, Niels Henrik David (1885-1962), 丹麦, 240
Boltzmann, Ludwig Eduard (1844-1906), 奥地利, 385, 866
Bragg, William Henry (1862-1942), 英国, 1249
Busch, Hans Walter Hugo (1884-1973), 德国, 956
Campbell, Norman Robert (1880-1949), 英国, 511
Cherenkov, Pavel Alekseyevich (1904-1990), 俄国, 224
Compton, Arthur Holly (1982-1962), 美国, 134
Cooper, Leon N (1930-), 美国, 63
Coulomb, Charles-Augustin (1736-1806), 法国, 40
de Broglie, Louis Victor Pierre Raymond (1892-1987), 法国, 932
Debye, Peter Joseph William (1884-1966), 荷兰/美国, 695
Dirac, Paul Adrien Maurice (1902-1984), 英国, 1175
Doppler, Christian Andreas (1803-1853), 奥地利, 132
Drude, Paul Karl Ludwig (1863-1906), 德国, 716
Dyson, Freeman John (1923-2020), 英国/美国, 171
Earnshaw, Samuel (1805-1888), 英国, 452
Einstein, Albert (1879-1955), 德国, 40, 594
Faraday, Michael (1791-1867), 英国, 40
Fermi, Enrico (1901-1954), 意大利/美国, 321
Feynman, Richard Phillips (1918-1988), 美国, 195
Feynman, Richard Phillips (1918-1988), 美国, 1173
Fokker, Adriaan Daniel (1887-1972), 荷兰, 866
Frank, Ilya Mikhailovich (1908-1990), 俄国, 224
Fresnel, Augustin-Jean (1788-1827), 法国, 770
Gibbs, Josiah Willard (1839-1903), 美国, 40, 306
Ginzburg, Vitaly Lazarevich (1916-2009), 俄国, 226
Goos, Hermann Fritz Gustav (1883-1968), 德国, 94
Gouy, Louis Georges (1854-1926), 法国, 153
Hanchen, Hilda (1919-2013), 德国, 94
Heaviside, Oliver (1850-1925), 英国, 40, 1194
Heisenberg, Werner Karl (1901-1976), 德国, 393
Hertz, Heinrich Rudolf (1857-1894), 德国, 40

Hill, George William (1838-1914), 美国, 362
Huygens, Christiaan (1629-1695), 荷兰, 64
Jackson, John David (1925-2016), 美国, xi
Jeans, James Hopwood (1877-1946), 英国, 866
Jefimenko, Oleg Dmitrovich (1922-2009), 乌克兰, 195
Kramers, Hendrik Anthony (1894-1952), 荷兰, 753
Kronig, Ralph (1904-1995), 德国, 753
Landau, Lev Davidovich (1908-1968), 俄国, 888, 1076
Langevin, Paul (1872-1946), 法国, 521
Larmor, Joseph (1857-1942), 英国, 354
Laue, Max Theodor Felix von (1879 - 1960), 德国, 936
Leontovich, Mikhail Aleksandrovich (1903-1981), 俄国, 60, 710
Lienard, Alfred-Marie (1869-1958), 法国, 185
Lorentz, Hendrik Antoon (1853-1928), 荷兰, 40, 129
Lorenz, Ludvig Valentin (1829-1891), 丹麦, 66
Maxwell, James Clerk (1831-1879), 英国, 40
McMillan, Edwin Mattison (1907-1991), 美国, 467
Meissner, Fritz Walther (1882-1974), 德国, 62
Nyquist, Harry (1889-1976), 瑞士, 1125
Oersted, Hans Christian (1777-1851), 丹麦, 40, 49
Onnes, Heike Kamerlingh (1853-1926), 荷兰, 61
Panofsky, Wolfgang Kurt Hermann (1919-2007), 德国/美国, 749
Pendry, John Brian (1943-), 英国, 144
Planck, Max Karl Ernst Ludwig (1858-1947), 德国, 866
Poynting, John Henry (1852-1914), 英国, 70
Purcell, Edward Mills (1912-1997), 美国, 227, 1278
Savart, Felix (1791-1841), 法国, 40
Schott, George Augustus/Adolphus (1868-1937), 英国, 187
Schrieffer, John Robert (1931-2019), 美国, 63
Schroedinger, Erwin Rudolf Josef Alexander (1887-1961), 奥地利, 171
Schwinger, Julian Seymour (1918-1994), 美国, 97, 231
Sievert, Rolf Maximilian (1896-1966), 瑞典, 198
Slater, John Clarke (1900-1976), 美国, 126
Strutt, John William (3rd Baron Rayleigh), (1842-1919), 英国, 151
Tamm, Igor Yevgenyevich (1895-1971), 俄国, 224
Thomson, Joseph John (1856-1940), 英国, 135
Thomson, William (1824-1907), 英国, 138
van Kampen, Nicolaas Godfried (1921-2013), 荷兰, 1076
Veksler, Vladimir Iosifovich (1907-1966), 俄国, 467
Veselago, Victor Georgievich (1929-2018), 俄国/乌克兰, 144
Vlasov, Anatoly Aleksandrovich (1908-1975), 俄国, 308
Wiechert, Emil Johann (1861-1928), 德国, 185

Yang, Chen Ning (1922-), 中国, 1159

表格
2π, $\sqrt{2\pi}$, 9
$\Delta z, \Delta\tau, \Delta\phi$, 466
i, j 惯例, 9
z, s, ct、头部 vs. 尾部粒子, 465
FEL 放大器 vs.FEL 振荡器, 639
Frenet-Serret 坐标系左右手惯例, 327
三种坐标系
定义, 1163
梯度、散度、旋度和 Laplace 算子展开, 1167
三角函数恒等式, 1187
不同分布函数的定义 $\rho(\omega)$, 1210
不同分布函数的特征宽度 $\Delta\omega$, 1211
不同教科书符号惯例比较, 1257
传统常温磁铁 vs. 超导磁铁, 340
传统激光 vs. 自由电子激光, 611
位置向量 $\mathbf{r}$ 的微分运算, 1172
加速器基础科学问题, 1016
加速器应用、模拟与技术难题, 1016
加速器集体不稳定性年表, 821
单位制转换 — 数值, 29
单位制转换 — 符号, 26, 27
单侧傅里叶变换公式, 715
双曲函数恒等式, 1188
同步辐射储存环, 1236
同步辐射实用公式, 265
商业激光覆盖频谱, 581
四代光源亮度比较, 587
四极铁梯度, 359, 495
复变函数与静电、静磁场基本方程的关系, 160
容性、感性阻抗惯例, 746
对撞机, 1242
尾场与阻抗公式, 784
尾场函数数值单位变换, 737, 747
尾场势、尾场力公式, 738
常温、光阴极、射频电子枪, 1233
常温自由电子激光 vs. 超导自由电子激光, 611
常用向量恒等式 $\cdot, \times, \nabla, \nabla\cdot, \nabla\times$, 1166
常用积分公式, 1182
微波频段定义, 97
数量级前缀词, 31
波荡器辐射实用公式, 295
泰勒展开近似公式, 1203
物理常数, 24
电子加速器光源形态的束团特性, 1104
电磁频谱, 1245
直线加速器, 1232
级数求和公式, 1208
能量循环/回收直线加速器, 1241
自由电子激光, 1234
贝塞尔函数及其一阶导数函数的根, 108
量纲, 24
铝、铜金属的一些特性参数, 720