

刘盛纲学术论文集

LIU
SHENG
GANG
XUE
SHU
LUN
WEN
JI

四川科学技术出版社

075021

LIU
SHENG
GANG
XUE
SHU
LUN
WEN
JI



200441566



四川科学技术出版社



00621793



刘盛纲学术论文集

1334 67/01

(川) 新登字004号

刘盛纲学术论文集

刘盛纲 著

责任编辑·赵 健

封面设计·陈万福

版面设计·盛寄萍

出版、发行 四川科学技术出版社

成都盐道街3号 邮编 610012

经 销 新华书店重庆发行所

印 刷 重庆印制一厂

版 次 1993年3月成都第一版

1993年3月第一次印刷

规 格 850×1168毫米 1/32

印张 23 字数 490 千 插页 7

印 数 1—430 册

定 价 18.00 元 (精)

ISBN 7-5364-2181-8/TN·68

刘盛纲简历

刘盛纲,1933年12月25日出生于安徽合肥市。1951年进入浙江大学电机系,1953年院系调整到南京工学院无线电系,于1955年毕业并留任助教。1956~1958年在成都电讯工程学院读苏联专家列别捷夫的研究生并任专业翻译。1961年升讲师。1964年升副教授,1978年升教授。1980年被选为中国科学院学部委员。1984年任成都电讯工程学院(现电子科技大学)副院长,1986年任院长(1988年改为校长)。

他是国务院学位委员会学科评审组成员、第四届中国科学技术协会全国委员会常委、四川省科学技术协会副主席、中国电子学会副理事长、中国电子教育学会主任、四川省科技顾问团副主任、国家教委科技委委员电子学与通讯组组长、国家自然科学基金会信息学部电子学专家组组长、机电部科技咨询委员会委员。

他是世界银行贷款第二个发展中国大学项目中国专家咨询委员会副主席。

他曾任第六届国际红外与毫米波会议回旋管分会主席、第四届回旋管与自由电子激光国际会议主席、第十届自由电子激光国际会议国际委员会成员、《国际电子学杂志》回旋管与自由电子激光专集客座主编、亚太地区微波会议国际委员会成员、北京国际远红外与毫米波技术会议国际委员会成员等。

他被聘为国际电磁科学院院士(Member of the Electromagnetic Academy, MIT)。美国田纳西大学(UTK)杰出客座教授,美国麻省理工学院、西德汉堡工业大学、英国里兹大学客座教授。他还是中国科技大学、华中理工大学、国防科技大学、上海工业大学兼职教授。

在刘盛纲教授的三部著作《微波电子学导论》、《相对论电子学》、《电子回旋脉塞与回旋管的进展》相继出版之后，今天我很高兴地看到，他的论文集又将出版了。

刘盛纲教授是我国自己培养的第一代杰出的电子科学家。他是中国科学院学部委员、中国科协全国常委、电子科技大学校长。50年代以来，他主要从事微波电子学、电子回旋脉塞及自由电子激光等的研究。到目前为止，他发表了100多篇论文。这本论文集收集了其中的37篇。他在电子回旋脉塞、自由电子激光方面的研究工作在世界上均处于领先水平。其中，《电子回旋谐振器发射的动力学理论》（中国科学，No.5，1979，P524）和 The Kinetic Theory of the Electron Cyclotron Resonance Maser with Space-charge Wave Effect taken into Consideration (Int. J. Electronics, 1981) 等

Vol. 51, No. 4, 341-349) 多次为国内外的学者所引用, 对电子回旋脉塞的发展起了很大的作用。

刘盛纲教授多次出国讲学和参加国际会议, 介绍我国在电子回旋脉塞和自由电子激光方面的工作, 并得到赞许。由于他出色的工作, 被聘为国际电磁科学院院士 (Member of the Electromagnetic Academy)、美国田纳西大学 (UTK) 杰出的客座教授 (Distinguished Visiting Professor), 成为该大学历史上第八位, 而且是第一个外国籍的杰出的客座教授。此外, 他还被聘为美国麻省理工学院、德国汉堡工业大学、英国里兹大学的客座教授。由此可见刘盛纲教授在国际上的学术地位。

刘盛纲教授的论文集主要由以下三大部分组成:

一、微波电子学

收集了其中的8篇论文, 论文发表的时间由1959年至今。“环状结构理论”一文堪称是他在这一方面的代表作。

二、电子回旋脉塞

这部分工作主要是1979年开始的, 共收集了15篇论文, 其中有一些在国外影响相当大, 并多次为国外学者所引用。

三、自由电子激光

这部分工作主要是近几年开展的, 共收集了14篇论文, 其中有些论文在国际上很有影响的学术会议上被选为特邀报告, 并得到国内外学者的好评。

四川科技出版社为刘盛纲教授提供了这么一次总结他的科研论文的机会, 的确是一件喜事。我想, 该书的出版, 对我国从事

微波电子学、电子回旋脉塞和自由电子激光领域的科技人员和工程技术人员无疑是有意义的。

中国科学院学部委员、清华大学教授

孟昭英

1991年8月 于北京

我自幼对科学有着浓厚的兴趣，在中学时代，就立志要从事科学研究。大学毕业后，进入中国科学院工作，从事基础理论研究。在科研工作中，我始终保持着谦虚谨慎的态度，努力向老一辈科学家学习。在党的领导下，我积极投身于国家的科技事业，为我国的科技发展贡献了自己的一份力量。回首往事，感慨万千，深感自己还有很多不足之处，需要继续学习和努力。

在科学技术事业上，我只是普通的一员，虽然一向不敢怠慢，但总觉得著作做得太少。近年来，学术界和出版界的朋友们屡屡建议我出一本论文集，使我实在难以推却。谨愿以此粗疏之作，为科学之路作一铺垫。

人类历史上曾出现过很多著名的科学家，虽然他们对科学技术的发展有重大的贡献，但却认为自己只不过是“站在巨人的肩上”，只不过是“在海滩上拾到几个光彩的贝壳”。与此同时，他们对别人的工作，哪怕是点滴的贡献，却都抱着极其尊重的态度。他们的科学精神以及他们的科学道德，值得敬重，永远是后人的楷模！在我国，从古至今，都不乏这样的具有伟大成就和博大胸怀的科学家，他们对后人的精神鼓舞与教育甚至比他们的科学成就影响更大，更深刻！

我深受至今尚健在的以及已故去的几位前辈科学家的教导与

鞭策，希望借此机会，对他们表示最崇高的敬意！

在这本论文集的出版过程中，中国电子科技大学高能所副所长于善夫副研究员以及博士生蒙林、熊彩东、卢波、彭良福等付出了辛勤的劳动。此外，中国电子科技大学高能电子学研究所是作者教学、科研和学习的基地。该所的领导和同志们与作者共度了数十个春秋，荣辱与共，情同手足！在此，作者向他们表示由衷的谢意！

中国科学院学部委员、老科学家孟昭英教授，在身体极度不适的情况下，为本论文集写了序。他对后辈如此扶持与关注，使作者深受感动。谨向孟老表示最诚挚的谢忱！

本论文集谬误之处在所难免。敬希读者不吝赐教，为感。

刘盛纲 敬启

中国电子科技大学

成都 610016

刘盛纲

1990年12月于美国田纳西大学

1	静电旋行聚束系统中电子运动的分析.....	1
2	慢波、快波及非慢波在具有中心导体螺旋线上的传播...	26
3	任意截面柱面静电系统中电子运动的分析.....	50
4	静电系统中电子运动轨迹的理论.....	67
5	环圈结构理论.....	90
6	波导开放式谐振腔的理论.....	115
7	3-mirror quasi-optical power combining of millimetre-wave sources.....	130
8	相对论空间电荷波理论.....	146
9	电子回旋谐振受激放射的动力学理论.....	158
10	论电子回旋脉塞动力学理论的两种方法.....	174
11	The kinetic theory of the electron cycto- tron resonance maser with space char-	

	ge effect taken into consideration.....	186
12	轴对称结构电子回旋谐振脉塞.....	204
13	任意纵向场分布的单腔电子回旋谐振脉塞动力学理论...	221
14	准光谐振腔电子回旋脉塞的动力学理论.....	247
15	15GHz实验回旋单腔管.....	277
16	Gyrottron with quasi-optical cavity of special configuration	288
17	Double-stream electron cyclotron maser.....	313
18	电子回旋谐振受激辐射的动力学理论 ——电子回旋中心坐标系方法的理论体系.....	342
19	一类特殊的三反射镜旋转对称准光学谐振系统.....	374
20	静电电子回旋脉塞.....	397
21	Electrostatic electron cyclotron resonance maser (linear theory).....	409
22	The orbit theory of electrostatic electron cyclotron resonance masers.....	430
23	静电电子回旋脉塞的动力学理论.....	453
24	The study of diffraction radiation oscillation	469
25	Free electron laser with electrostatic wiggler	496
26	Electrostatic free-electron laser.....	513
27	Pump-free crossed-field free-electron laser	543

-
- 28 Free-electron laser-electrostatic electron
cyclotron resonance maser hybrids.....558
- 29 渡越辐射自由电子激光中自发辐射与受激辐射的关系...584
- 30 A survey of FEL activity in China.....594
- 31 自由电子激光放大实验的准光腔毫米波信号注入器.....606
- 32 The long pulse effect in free electron las-
ers623
- 33 Waveguides with inner dielectric cylinder(s)
for cerenkov free electron laser.....631
- 34 The effects of weak self-fields on electron
orbits for a free electron laser.....655
- 35 8毫米相对论 orotron 的实验研究.....665
- 36 自由电子激光的空间电荷波理论.....683
- 37 自由电子激光的线性理论.....708

静电旋行聚束系统 中电子运动的分析

■ 摘 要

本文从基本概念出发, 对于电子在静电旋行聚束系统中的运动情况加以分析。第一部分讨论不考虑空间电荷效应时的情况, 第二部分讨论考虑空间电荷效应时的情况。文中指出, 通过等效聚束电压的概念, 可以把两种情况统一起来。对于考虑空间电荷效应时电子运动的稳定情况进行了讨论。在两种情况下电子进入系统时的初始条件对系统工作的影响在文中都作了较详细的讨论。

在附录中研究了保证系统完全平衡所要求的空间电荷分布。证明: 在完全平衡的条件下, 系统总是稳定的。最后, 将完全平

衡条件下的情况与前面假定空间电荷分布为常数下的情况进行了比较。

一、引言

随着行波管^①的蓬勃发展,长流电子束的聚束问题的研究有了巨大的实际与理论上的意义。到目前为止,已出现了很多不同的聚束系统^[1]。电子束的静电聚束系统以它的结构轻巧及无需消耗大量功率等优点长久以来就吸引着人们广泛的注意。苏联学者在这方面有极大的贡献^[2]。其中所谓电子束的静电旋行聚束系统更有着明显的实用价值及发展前途^[3]。它不仅可以代替沉重的其他类型的聚束系统,使行波管装置的重量大为减轻,而且在行波管中采用了这种聚束系统后,由于它能建立起空心圆柱电子束,因而将提高电子与场相互作用的效率,并且在某种程度上使行波管的工作频带可以更加增宽^[4]。毫无疑问,这种聚束系统的进一步研究将促进行波管的应用,因而,它已引起了各国学者们的广泛注意,并且已开始应用于各式各样的行波管中去了^[5,6]。不仅如此,旋行聚束概念的进一步发展可以导致一种新型微波电子器件的诞生^[7]。

虽然如此,对于静电旋行聚束系统中电子运动情况的研究无论是在理论上或是在实际上都进行得非常不够。在文[3]中仅研究了电子在上述系统中运动稳定的一般问题。正如后面将要指出

① 这里行波管有着广泛的含义,以下均同。

的那样, 文[3]中所提出的稳定的普遍条件 $E_r' + \frac{3E_r}{r} > 0$ 也只有在一定的条件下才是准确的。因此, 尚有很多问题需要加以进一步研究。例如, 电子进入系统时所具有的初始条件对系统的工作有何影响, 考虑空间电荷效应时, 电子的平衡条件应作哪些修正, 电子的运动情况如何等等。因此, 本文就企图对电子在上述系统中的运动情况作较深入的理论分析。这些分析结果对于更好的了解上述系统中的物理过程及正确地解决其设计问题可能有所帮助。

二、不考虑空间电荷效应时静电 旋行聚束系统中电子的运动

1. 不必去研究电子的轴向运动*, 如图1所示, 电子在上述系统中的运动可由下述方程表示:

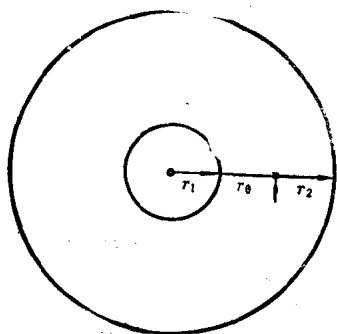


图 1

$$m \left[\frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] = F_r, \quad (1)$$

$$m \frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left(r^2 \frac{d\theta}{dt} \right) = F_\theta, \quad (2)$$

式中所用符号具有通常的意义。

考虑到在旋行聚束系统中仅有加在内外导体间的直流电压, 并且不考虑空间电荷效应, 由方程(1)、(2),

* 如果需要考虑电子与电磁行波的同步作用, 则仅须使 $V_z = V_\phi$, 这里 V_z 是电子运动速度的轴向分量, V_ϕ 表示电磁行波的相速。

即可得

$$r^2 \frac{d\theta}{dt} = P_\theta = \text{常数}, \quad (3)$$

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{m P_\theta^2}{r^3} - \frac{e U_0}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \cdot \frac{1}{r}, \quad (4)$$

式中 U_0 为束束电压, $m P_\theta$ 是电子的角动量, r_1 及 r_2 表示内导体外径及外导体内径。

由方程(4)可见, 当满足平衡条件

$$\frac{m P_\theta^2}{r_0^3} = \frac{e U_0}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \cdot \frac{1}{r_0} \quad (5)$$

时, 电子将在确定的轨道上旋转。(5)式中 r_0 即代表其平衡位置。

运动方程(4)的变更方程可写成*

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} = K \xi, \quad (6)$$

式中 ξ 表示微扰, 且有

$$K = \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{m P_\theta^2}{r^3} - \frac{e U_0}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \cdot \frac{1}{r} \right) \Big|_{r=r_0} < 0. \quad (7)$$

因此, (5)式所代表的平衡是稳定平衡。

2. 要更为深入地分析电子的运动情况, 特别是要研究电子在进入系统时的初始条件对系统工作的影响, 就必须求解电子的运动方程。让我们指出, 从实际的观点来看, 研究电子的初始条

* 在这种情况下利用线性化的变更方程来讨论(4)式的运动稳定问题是正确的, 与借助于李雅普诺夫的方法所得结果一致。

件对于系统工作的影响是有着巨大的意义的。

解运动方程(4), 并考虑到起始条件

$$r=r_0, \quad \frac{dr}{dt}=V_{0r},$$

可得

$$\frac{dr}{dt} = \pm \sqrt{V_{0r}^2 + P_0^2 \left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r^2} \right) + \frac{2eU_0}{m \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \ln \left(\frac{r_0}{r} \right)}. \quad (8)$$

进一步积分上式, 所得的解很复杂, 不便于利用。其实, 利用方程(8)即可进行我们的讨论。

电子在上述系统中运动不致落到内外导体上去的普遍条件可表为

$$r=r_1, \quad r=r_2 \text{ 时,}$$

$$\frac{dr}{dt} = 0 \quad (9)$$

及

$$\frac{d^2 r}{dt^2} \begin{cases} < 0 & (r=r_2) \\ > 0 & (r=r_1) \end{cases} \quad (10)$$

这样, 我们就可以分成两种情况进行讨论:

首先, 如果电子从电子枪射出而进入系统时, 虽然角动量满足平衡条件(5)但却具有一径向速度 V_{0r} 。因而, 如果 V_{0r} 是正的, 则电子将向外导体运动, 使 $r > r_0$, 则有

$$\left(\frac{dr}{dt} \right)^2 = V_{0r}^2 - \frac{eU_0}{m \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \left[2 \ln \left(\frac{r}{r_0} \right) - \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right) \right]. \quad (11)$$