



电磁场与电磁波理论

DIANCICHANG YU DIANCIBO LILUN

曹 伟 徐立勤 编著

北京邮电大学出版社



O441.4
5525

电磁场与电磁波理论

曹 伟 徐立勤 编著

北京邮电大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电磁场与电磁波理论/曹伟, 徐立勤编著. —北京: 北京邮电大学出版社, 1999.1
ISBN 7-5635-0350-1

I. 电… II. ①曹… ②徐… III. ①电磁场-高等学校-教材 ②电磁波-高等学校-教材
IV. 0441.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 33315 号

出版发行: 北京邮电大学出版社 电话: (010)62282185(发行部)
社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号 邮政编码: 100876
经 销: 各地新华书店经售
印 刷: 河北省高碑店市印刷厂
开 本: 787 mm×1092 mm 1/16
印 张: 20.5
字 数: 524 千字
版 次: 1999 年 1 月第 1 版 1999 年 1 月第 1 次印刷
印 数: 1—2 000 册
书 号: ISBN 7-5635-0350-1/TN·163
定 价: 29.00 元

序 言

电磁学是人类利用自然、改造自然长期实践中逐步形成的一门自然科学分支，它在与其他相关学科的相互渗透和相互促进中，不断地获得发展和完善，同时也极大地推动着通信、雷达、广播、导航、遥感等一系列电子科技的革新和进步。当今，电磁学已成为无线电电子学领域里的一门重要基础学科，电磁学方面的课程已成为各国理工科大学的必修基础课。

《电磁场与电磁波理论》是邮电部通信类专业教学指导委员会确定的一本重点专业基础课教材。本教材是为通信电子类专业本科生而写的，但也可以作为其他专业学生或工程技术人员的参考书。教材目录中标注“*”号的内容可根据不同专业和学时要求加以取舍。每章结尾均配备了一定数量习题，并在本书最后给出了部分习题的答案。习题数量要比教学中实际需要和学生有可能完成的数量要多一些，教师可根据具体情况自行选择。

目前，国内外比较著名的电磁学类书籍已经不少。这些书籍的基本内容虽然大同小异，但在材料取舍、结构、侧重、阐述诸方面却各具特色。在本书的编写中，笔者吸取了南京邮电学院该课程教学群体长期从事本科教学的实践经验，注意参考和比较了国内外一些同类书籍的特色，并以此为基础，形成了本书的一些特点。这些特点主要表现为：

一、在第1章“矢量分析”中，比较系统地介绍了矢量分析中的一些基本概念和基本定理，为全书提供了一个完整的数学预备知识。对于不具备这方面知识的读者，学好这一章将为后面章节的学习打下良好的基础。对于那些已经学过这一内容的读者而言，这一章则可作为他们自学和复习的资料。

二、在第2章“宏观电磁现象的基本规律”中，将大学普通物理课程中的电磁学内容作了简要回顾，介绍了电磁学中的一些基本物理量和一些基本电磁定律，直至引出麦克斯韦方程组积分形式。接着，再以这些物理课程内容为基础，直接导出时变电磁场麦克斯韦方程组微分形式和电磁场边界条件，使读者很快地进入本课程核心内容。这种安排的直接好处至少有两个，一是可以与先导课程（物理课）有一定重叠，以利承上启下，平稳过渡，保持教学内容的连续性；二是可以避免与物理课程内容过多重复，节省教学课时。

三、在第3章“静电场及其边值问题的解法”及第4章“恒定电场与恒定磁场”中，分别讨论了静止电荷产生的电场和恒定电流产生的电场与磁场。这些场是时变电磁场在诸场量不随时间而变化条件下的特例。令诸场量随时间的变化率等于零，便可直接从麦克斯韦方程组及其边界条件导出静电场和恒定场的基本方程和边界条件。这种由“一般”到“特殊”的叙述方法称作“演绎法”，它与传统的从“特殊”到“一般”的“综合法”叙述方式正好相反。“综合法”叙述顺序是先介绍静电场，再讨论恒定电场与磁场，最后才研究时变电磁场。这种叙述顺序虽然与电磁学由“简”到“繁”历史发展过程相一致，比较容易被人们所接受，但却与物理课程内容产生了过多的和不必要的重复。我们选择“演绎法”，除了因为它可以避免“综合法”的上述缺陷以外，还因为它将有利于读者较早地形成电磁场与电磁波的

整体概念，并能较好地培养学生利用一般规律分析和解决具体问题的能力。

四、在第3章对静电场的讨论中，重点放在静电场边值问题的求解方法上。这些方法的重要性不仅表现在求解静电问题本身，更主要的是表现在它可以推广和延伸到求解各类复杂电磁问题。边值问题的求解方法很多，我们只介绍其中一些最流行和最具代表性的方法。在解析方法方面，除了提到直接积分法和镜像法以外，重点讨论三种常用正交坐标系下的分离变量法。在数值方法方面，既介绍“场域型”数值方法，又介绍“边界型”数值方法。在这两类数值方法中，有限差分法被选择作为前者的代表，而矩量法被选择作为后者的代表。

五、从第5章开始就转入对电磁波的讨论，直至本书第8章为止。在这一部分中，电磁波理论中的一些最基本内容均有涉及：既介绍了电磁波的辐射（第5章），又介绍了电磁波的传播（第6, 7, 8章）；既介绍了电磁波在无界空间中的传播（第6章），又介绍了电磁波沿导波结构的传播（第7, 8章）；既介绍了电磁波在各向同性媒质中的传播（第6章的前两节），又介绍了电磁波在各向异性媒质中的传播（第6章的第3节）；既介绍了电磁波在无反射情况下的传播（第6章的前3节），又介绍了电磁波在传播过程中遇到障碍物时的反射与折射（第6章的后两节）；等等。总的说来，若把专门介绍数学预备知识的第1章除外，电磁波部分超过全书篇幅的三分之二，这个比重大大超过了多数同类书籍的相应比重。我们之所以这样安排，主要是考虑到电磁波内容与电磁工程实际联系比较紧密，需要加强。另外，采用“演绎法”组织教材内容，也使电磁场内容的减少成为可能。

本书共分8章，曹伟教授编写了第1章至第6章，徐立勤副教授编写了第7章、第8章并负责全部习题和插图，全书由曹伟统编。

在编写本书之前，北京邮电大学陈振国教授和南京邮电学院吴志忠教授对本书的编写大纲提出了宝贵意见。在编写过程中，笔者与电子科技大学赵家升教授和西安邮电学院廖承恩教授就教材结构进行了有益讨论。在初稿完成以后，东南大学杨铨让教授审阅了全书并提出了若干改进意见。本书的编写与出版得到邮电部通信类专业教学指导委员会和南京邮电学院相关领导的大力支持。在此，一并向他们表示衷心感谢。

由于编著者水平有限，时间也比较紧迫，疏漏乃至错误之处在所难免，敬希读者不吝指正。

作者

1998年10月于南京

主要物理量的符号、单位和量纲

物 理 量		单 位		量 纲
名 称	符 号	名 称	符 号	
长度	L, l	米	m	L
质量	m	千克	kg	M
时间	t	秒	s	T
电流	I, i	安培	A	I
矢量磁位	A	韦[伯]每米	Wb/m	$MLI^{-1}T^{-2}$
磁感应强度	B	特[斯拉]	T	$MI^{-1}T^{-2}$
电纳	B	西[门子]	S	$I^2T^3M^{-1}L^{-2}$
电容	C	法[拉]	F	$I^2T^4M^{-1}L^{-2}$
真空中光速	c	米每秒	m/s	LT^{-1}
电位移	D	库[仑]每平方米	C/m ²	ITL^{-2}
方向性系数	D			
电场强度	E	伏[特]每米	V/m	$MLI^{-1}T^{-3}$
力	F	牛[顿]	N	MLT^{-2}
频率	f	赫[兹]	Hz	T^{-1}
电导	G	西[门子]	S	$I^2T^3M^{-1}L^{-2}$
磁场强度	H	安[培]每米	A/m	IL^{-1}
体电流密度	J	安[培]每平方米	A/m ²	IL^{-2}
体传导电流密度	J_c	安[培]每平方米	A/m ²	IL^{-2}
体位移电流密度	J_d	安[培]每平方米	A/m ²	IL^{-2}
体运流电流密度	J_e	安[培]每平方米	A/m ²	IL^{-2}
面电流密度	J_s	安[培]每米	A/m	IL^{-1}
行波系数	K			
波数	k	弧度每米	rad/m	L^{-1}
电感	L	亨[利]	H	$ML^2I^{-2}T^{-2}$

续表

物 理 量		单 位		量 纲
名 称	符 号	名 称	符 号	
折射率	n			
电极化强度	P_e	库[仑]每平方米	C/m ²	ITL ⁻²
磁化强度	P_m	安[培]每米	A/m	IL ⁻¹
功率	P	瓦[特]	W	ML ² T ⁻³
电荷[量]	Q, q	库[仑]	C	IT
电阻	R	欧[姆]	Ω	ML ² I ⁻² T ⁻³
矢径	r	米	m	L
坡印廷矢量	S	瓦[特]每平方米	W/m ²	MT ⁻³
平均坡印廷矢量	S_{av}	瓦[特]每平方米	W/m ²	MT ⁻³
驻波比	S			
周期	T	秒	s	T
折射系数,透射系数	T			
电压	$U(V)$	伏[特]	V	ML ² I ⁻¹ T ⁻³
速度	v	米每秒	m/s	LT ⁻¹
相速	v_p	米每秒	m/s	LT ⁻¹
群速	v_g	米每秒	m/s	LT ⁻¹
能量	W	焦[耳]	J	ML ² T ⁻²
能量密度	w	焦[耳]每立方米	J/m ³	ML ⁻¹ T ⁻²
电场能量密度	w_e	焦[耳]每立方米	J/m ³	ML ⁻¹ T ⁻²
磁场能量密度	w_m	焦[耳]每立方米	J/m ³	ML ⁻¹ T ⁻²
电抗	X	欧[姆]	Ω	ML ² I ⁻² T ⁻³
导纳	Y	西[门子]	S	I ² T ³ M ⁻¹ L ⁻²
特性导纳	Y_c	西[门子]	S	I ² T ³ M ⁻¹ L ⁻²
阻抗	Z	欧[姆]	Ω	ML ² I ⁻² T ⁻³
特性阻抗	Z_c	欧[姆]	Ω	ML ² I ⁻² T ⁻³
波阻抗	Z_w	欧[姆]	Ω	ML ² I ⁻² T ⁻³

续表

物 理 量		单 位		量 纲
名 称	符 号	名 称	符 号	
衰减常数	α	奈培每米	Np/m	L^{-1}
相位常数	β	弧度每米	rad/m	L^{-1}
反射系数	Γ			
传播常数	γ	每米	m^{-1}	L^{-1}
透入深度	δ	米	m	L
介电常数	ϵ	法[拉]每米	F/m	$F^2T^4M^{-1}L^{-3}$
真空介电常数	ϵ_0	法[拉]每米	F/m	$F^2T^4M^{-1}L^{-3}$
相对介电常数	ϵ_r			
真空波阻抗	η	欧[姆]	Ω	$ML^2I^{-2}T^{-3}$
效率	η			
布儒斯特角	θ_B	弧度	rad	
临界角	θ_c	弧度	rad	
波长	λ	米	m	L
自由空间波长	λ_0	米	m	L
截止波长	λ_c	米	m	L
波导波长	λ_g	米	m	L
磁导率	μ	亨[利]每米	H/m	$MLI^{-2}T^{-2}$
真空磁导率	μ_0	亨[利]每米	H/m	$MLI^{-2}T^{-2}$
相对磁导率	μ_r			
体电荷密度	ρ	库[仑]每立方米	C/m^3	ITL^{-3}
面电荷密度	ρ_s	库[仑]每平方米	C/m^2	ITL^{-2}
线电荷密度	ρ_l	库[仑]每米	C/m	ITL^{-1}
电导率	σ	西[门子]每米	S/m	$F^2T^3M^{-1}L^{-3}$
电通[量]	Φ_e	库[仑]	C	IT
磁通[量]	Φ_m	韦[伯]	Wb	$ML^2I^{-1}T^{-2}$
电位	Φ	伏[特]	V	$ML^2I^{-1}T^{-3}$

续表

物 理 量		单 位		量 纲
名 称	符 号	名 称	符 号	
角频率	ω	弧度每秒	rad/s	T^{-1}
电极化率	χ_e			
磁化率	χ_m			

注：无方括号的量的名称与单位名称均为全称。方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可以省略。去掉方括号即为其名称的简称。

主要物理量的符号、单位和量纲	I
----------------------	---

第 1 章 矢量分析

§ 1.1 矢量与矢量表示法	1
1. 矢量	1
2. 单位矢量	1
3. 矢量表示法	1
4. 矢 径	2
§ 1.2 矢量的代数运算	3
1. 矢量相等	3
2. 矢量加法	3
3. 矢量减法	4
4. 矢量与标量的乘积	4
5. 矢量的标量积	4
6. 矢量的矢量积	5
§ 1.3 标量场的梯度	6
1. 标量场与矢量场	6
2. 标量场的等值面	7
3. 标量场的方向导数	7
4. 标量场的梯度	8
5. 梯度的基本公式	9
§ 1.4 矢量场的散度	10
1. 矢量场的通量	10
2. 矢量场的散度	11
3. 散度的表示式	11
4. 散度的基本公式	13
§ 1.5 矢量场的旋度	14
1. 矢量场的环量	14
2. 矢量场的旋度	14
3. 旋度的表示式	15
4. 旋度的基本公式	17

5. 梯度、散度、旋度的比较	17
§ 1.6 包含 ∇ 算子的恒等式	18
§ 1.7 矢量场的基本定理	19
1. 高斯散度定理	19
2. 斯托克斯定理	20
3. 格林第一定理	21
4. 格林第二定理	21
5. 唯一性定理	21
6. 亥姆霍兹定理	23
§ 1.8 常用正交曲线坐标系	24
1. 正交曲线坐标系的概念	24
2. 三种常用正交曲线坐标系	24
3. 三种常用坐标系之间的关系	26
4. 三种坐标系下的梯度、散度、旋度和拉普拉斯式	27
习 题	28

第 2 章 宏观电磁现象的基本规律

§ 2.1 基本电磁物理量	30
1. 电荷密度	30
2. 电场强度	31
3. 电极化强度	31
4. 电位移	32
5. 电流密度	33
6. 磁感应强度	34
7. 磁化强度	35
8. 磁场强度	36
§ 2.2 电磁场基本定律	37
1. 库仑定律	37
2. 高斯定律	39
3. 电荷守恒定律	40
4. 安培定律与比奥-沙伐定律	41
5. 磁通连续性定律	43
6. 安培环路定律	43
7. 法拉第电磁感应定律	45
§ 2.3 麦克斯韦方程组的积分形式	46
1. 麦克斯韦的旋涡电场假设	46
2. 麦克斯韦的位移电流假设	47
3. 麦克斯韦方程组的积分形式	49
§ 2.4 麦克斯韦方程组的微分形式	50

§ 2.5 时变电磁场边界条件	52
1. 不同媒质分界面的边界条件	52
2. 理想导体表面的边界条件	54
习 题	55

第 3 章 静电场及其边值问题的解法

§ 3.1 静电场基本方程	60
1. 静电场基本方程的积分形式	60
2. 静电场基本方程的微分形式	60
§ 3.2 电位与电位梯度	61
1. 电位差	61
2. 电 位	62
3. 电位梯度	64
§ 3.3 静电场边界条件	65
1. 电场强度和电位移边界条件	65
2. 电位边界条件	66
§ 3.4 泊松方程和拉普拉斯方程	68
1. 泊松方程	68
2. 拉普拉斯方程	68
3. 静电场唯一性定理	69
§ 3.5 直接积分法	70
§ 3.6 直角坐标系中的分离变量法	73
§ 3.7 圆柱坐标系中的分离变量法	78
*§ 3.8 球面坐标系中的分离变量法	83
§ 3.9 镜像法	87
1. 点电荷关于无限大导体平面的镜像	87
2. 点电荷关于无限大相交导体平面的镜像	89
3. 点电荷关于导体球面的镜像	89
4. 点电荷关于无限大介质平面的镜像	91
5. 线电荷关于无限长圆柱导体的镜像	92
§ 3.10 有限差分法	95
1. 差分运算的基本概念	95
2. 二维狄里赫利边值问题的有限差分解法	96
*§ 3.11 矩量法	100
1. 矩量法的基本概念	100
2. 金属平板静电问题的矩量法分析	102
习 题	105

第 4 章 恒定电场与恒定磁场

§ 4.1 恒定电场基本方程与边界条件	110
---------------------	-----

1. 导体外部恒定电场	110
2. 导体内部恒定电场	110
3. 静电比拟法	111
§ 4.2 恒定磁场基本方程与边界条件	112
1. 恒定磁场基本方程	112
2. 恒定磁场边界条件	112
§ 4.3 矢量磁位	114
1. 矢量磁位的定义	114
2. 矢量磁位的积分表示式	115
3. 矢量磁位的泊松方程和拉普拉斯方程	117
§ 4.4 标量磁位	119
1. 标量磁位的定义	119
2. 标量磁位差	120
3. 标量磁位的拉普拉斯方程	120
4. 标量磁位的边界条件	121
习 题	122

第 5 章 电磁波的辐射

§ 5.1 时谐电磁场	125
1. 基本场量的复数表示式	125
2. 电磁场基本方程的复数形式	127
3. 电磁场边界条件的复数形式	128
4. 复介电常数和复磁导率	129
§ 5.2 矢量磁位和标量电位	131
1. 矢量磁位和标量电位的定义	131
2. 矢量磁位和标量电位的达兰贝尔方程	132
3. 矢量磁位和标量电位的积分表示式	133
4. 滞后位与超前位	135
5. 时谐电磁场的矢量磁位和标量电位	136
§ 5.3 坡印廷定理与坡印廷矢量	137
1. 时变电磁场的坡印廷定理与坡印廷矢量	137
2. 时谐电磁场的坡印廷定理与坡印廷矢量	138
§ 5.4 电基本振子的辐射	141
1. 电基本振子的电磁场	141
2. 电基本振子的近区场	143
3. 电基本振子的远区场	144
§ 5.5 对称天线的辐射	146
1. 对称天线	146
2. 对称半波天线	148

*§ 5.6 均匀直线式天线阵的辐射	150
1. 均匀直线式天线阵	150
2. 均匀直线式边射阵和端射阵	151
§ 5.7 磁基本振子的辐射	152
1. 磁基本振子的电磁场	152
2. 磁基本振子与电基本振子的对偶性	154
*§ 5.8 惠更斯元的辐射	157
1. 闭合面积场源的远区场	157
2. 矩形惠更斯元	159
3. 圆形惠更斯元	161
习 题	162

第 6 章 均匀平面波的传播

§ 6.1 均匀平面波在理想介质中的传播	166
1. 理想介质中均匀平面波的电磁场	166
2. 沿任意方向传播的均匀平面波	171
3. 均匀平面波的极化	173
§ 6.2 均匀平面波在导电媒质中的传播	177
1. 导电媒质中均匀平面波的电磁场	177
2. 均匀平面波在弱导电媒质中的传播	179
3. 均匀平面波在良导电媒质中的传播	180
*§ 6.3 均匀平面波在各向异性媒质中的传播	183
1. 等离子体的基本电磁特性	183
2. 均匀平面波在等离子体中的传播	187
3. 铁氧体的基本电磁特性	189
4. 均匀平面波在铁氧体中的传播	192
§ 6.4 均匀平面波对不同媒质分界面的垂直入射	194
1. 均匀平面波对介质平面的垂直入射	194
2. 均匀平面波对导体平面的垂直入射	197
3. 均匀平面波对多层媒质分界面的垂直入射	200
§ 6.5 均匀平面波对不同媒质分界面的斜入射	202
1. 均匀平面波对介质平面的斜入射	202
2. 均匀平面波对导体平面的斜入射	209
习 题	212

第 7 章 均匀波导中的导行电磁波

§ 7.1 导行电磁波的一般分析方法	217
1. 横向场和纵向场的亥姆霍兹方程	217
2. 用纵向场表示的横向场	218

3. 传播模式及其传播特性	219
§ 7.2 矩形波导中的导行电磁波	223
1. 直角坐标系中标量亥姆霍兹方程的通解	223
2. 矩形波导中导行电磁波的传播模式	224
3. 矩形波导中导行电磁波的传播特性	226
4. 矩形波导中若干常用传播模式的场结构	229
§ 7.3 圆形波导中的导行电磁波	233
1. 圆柱坐标系中标量亥姆霍兹方程的通解	233
2. 圆形波导中导行电磁波的传播模式	234
3. 圆形波导中导行电磁波的传播特性	237
4. 圆形波导中若干常用传播模式的场结构	239
§ 7.4 传输功率与传输损耗	243
1. 传输功率	243
2. 管壁电流	245
3. 传输损耗	247
§ 7.5 同轴线中的导行电磁波	250
1. 同轴线中的主模	250
2. 同轴线中的高次模	252
§ 7.6 光导纤维中的导行电磁波	253
1. 光导纤维中导行波的特征方程	253
2. 光导纤维中传播模式及其截止条件	255
习 题	258

第 8 章 均匀传输线中的导行电磁波

§ 8.1 均匀传输线中导行电磁波的传播模式	262
1. 均匀传输线中的主模	262
2. 均匀传输线中的高次模	265
§ 8.2 均匀传输线的基本方程及其稳态解	269
1. 均匀传输线的分布参数及其等效电路	269
2. 均匀传输线的基本方程	270
3. 均匀传输线基本方程的稳态解	271
4. 均匀传输线基本方程稳态解的不同表示形式	272
§ 8.3 均匀传输线的特征参数	274
1. 特性阻抗	274
2. 传播常数	276
§ 8.4 均匀传输线的等效阻抗和反射系数	277
1. 等效阻抗	277
2. 反射系数	278
3. 等效阻抗与反射系数的关系	279

§ 8.5 无耗均匀传输线	281
1. 终端接任意负载时的无耗均匀传输线	281
2. 无耗均匀传输线上的行波	285
3. 无耗均匀传输线上的驻波	286
§ 8.6 史密斯圆图	290
1. 复平面上的反射系数圆	290
2. 阻抗圆图	292
3. 导纳圆图	295
习 题	298
附 录	
常用的矢量公式	302
常用导体材料的参数	304
常用介质材料的参数	304
常用的物理常数	305
习题答案	306
参考文献	312

第 1 章

矢量分析

在正式进入电磁场和电磁波理论的学习以前，作为第 1 章，首先将较系统地介绍矢量分析的主要内容。之所以这样安排，主要考虑到电磁理论中出现的一些基本物理量，例如电场强度 E 、电位移 D 、磁感应强度 B 、磁场强度 H 等等都是矢量。同时，还考虑到一些反映电磁现象基本规律的方程，例如麦克斯韦方程组，主要是矢量函数的微分方程和积分方程。因此，矢量分析构成了电磁理论重要的数学基础。学好这一章，打好这一基础，就能更好地理解各类电磁矢量场的空间概念，懂得公式的推导过程，掌握问题的分析方法。当然，那些已经在数学课程或其他相关课程中学过这一部分内容的读者，可以跳过这一章，直接进入下面的章节。

§ 1.1 矢量与矢量表示法

1. 矢量

自然科学中的物理量，按是否具有方向属性来区分，可分为标量和矢量两大类。标量是指只有大小而无方向的物理量，例如长度、质量、时间、电荷、电阻等等都是标量。矢量是指既有大小又有方向的物理量，例如力、速度、加速度、电场强度、磁场强度等等都是矢量。

为便于区别矢量与标量，在本书中矢量均用黑斜体字母表示，而标量则用白斜体字母表示。例如 \mathbf{A} 表示一个矢量，它的大小称为该矢量的模，是一个标量，表示为 A 或 $|\mathbf{A}|$ 。

2. 单位矢量

模等于 1 的矢量叫做单位矢量。与矢量 \mathbf{A} 具有相同方向的单位矢量在本书中统一表示为 \mathbf{e}_A ，即

$$\mathbf{e}_A = \frac{\mathbf{A}}{A} \quad (1.1.1)$$

这样一来，任意一个矢量 \mathbf{A} 均可借助代表大小的模 A 和代表方向的单位矢量 \mathbf{e}_A 表示成为

$$\mathbf{A} = \mathbf{e}_A A \quad (1.1.2)$$

3. 矢量表示法

在三维空间中，矢量 \mathbf{A} 可表示为一根有方向的线段。该线段的长度代表 \mathbf{A} 的模，该线段的方向代表 \mathbf{A} 的方向。

在三维直角坐标系中， \mathbf{A} 可表示为一根由坐标原点出发的有方向线段，如图 1.1.1