



# **Electromagnetic Field and Wave (Electromagnetic Field Theory Fundamentals)**

**[tianjs@hust.edu.cn](mailto:tianjs@hust.edu.cn)**

**School of Electronic Information and Communications**

**Huazhong University of Science and Technology**

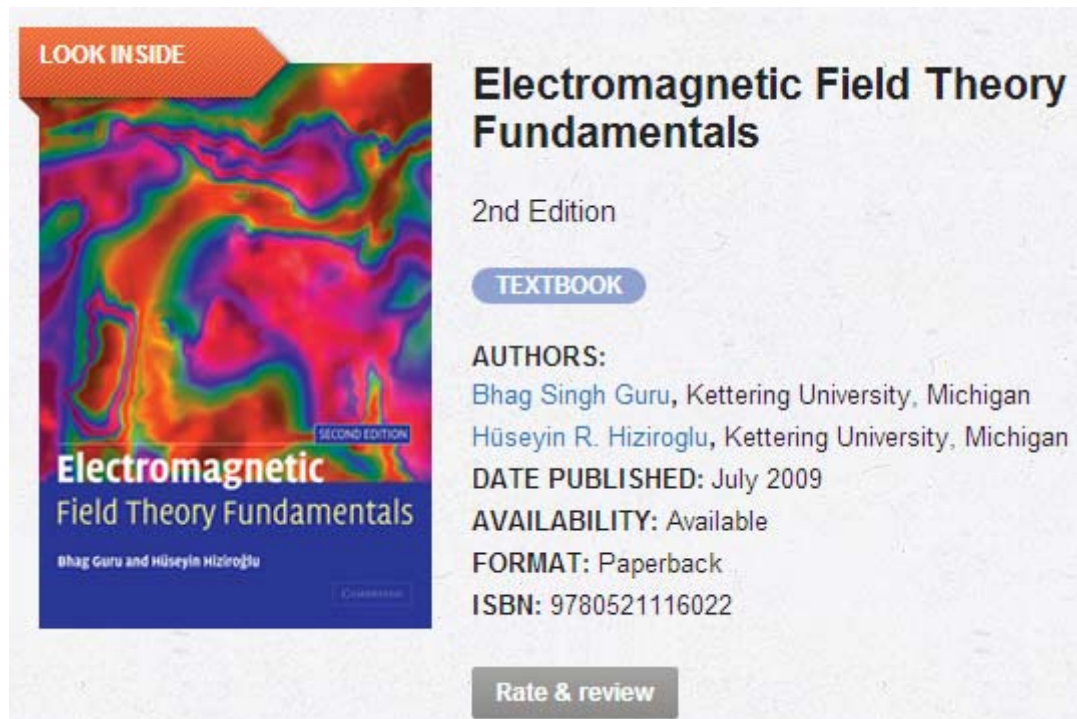
**Sep. 2023**

Teaching Material or Textbook

---

# Electromagnetic Field Theory Fundamentals

Second Edition



# 教材及参考书

---

- 电磁场与电磁波：沈熙宁，科学出版社
- Electromagnetic Field Theory Fundamentals, Second Edition , Bhag Guruan, 机械工业出版社(影印版)

# Contents

---

- 1. Electromagnetic Field theory**
- 2. Vector analysis**
- 3. Electrostatics**
- 4. Steady electric currents**
- 5. Magnetostatics**
- 7. Time-varying electromagnetic fields**
- 8. Plane wave propagation**

# 课程主要内容

---

- 1 矢量分析基础(1)
- 2 基本概念和静态场(2.3.5)
- 3 静电场边值问题的解法(4✗)
- 4 时变电磁场(6)
- 5 各向同性媒质中的均匀平面波(7)

# 要求

---

- 坚持听课，有事请假。
- 做好笔记
- 做好作业或课堂作业

# **Chapter 1 Electromagnetic Field theory**

---

**1.1 Introduction**

**1.2 Field concept**

**1.3 Field classifications**

**-Static fields and Time-varying fields**



# 1.1 Introduction 绪论

---

## 一、本课程的研究对象

- 主要是从工程的角度，对宏观电磁场现象的基本理论、计算方法和实际应用进行研究和学习。
- 宏观上和工程的角度
- → 基本理论、数值计算
- 该课程又称电磁场理论。

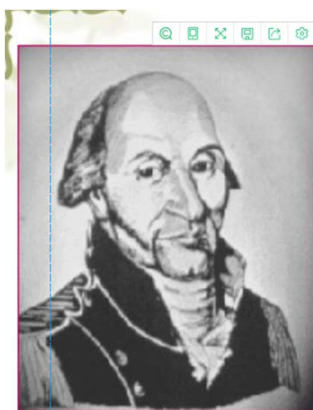


## 二、为什么开设本课程

1. 电子技术的发展的各个方面几乎与场和波有关。

■ 经过100多年的发展，电子技术已应用到国民经济和生活的各个方面。

■ 电磁发展历史



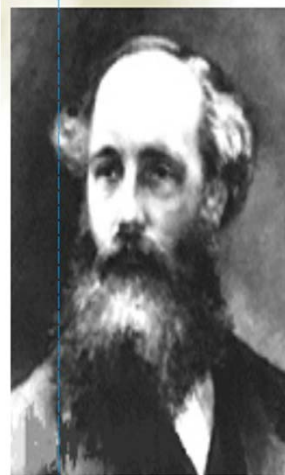
库仑于1779年通过实验和采用类比方法归纳、导出了两个静止点电荷间的相互作用规律，即库仑定律，是静电学理论建立的实验基础。

奥斯特从1807年开始研究电磁之间的关系。1820年，他发现电流以力作用于磁针。

近于同时，安培发现磁力作用的规律——安培力公式。



法拉第于1821年开始探索磁生电的实验。1831年他发现，当磁棒插入导体线圈时，导线圈中就产生电流，这表明：电与磁之间存在着密切的联系。法拉第发现了电磁感应定律。



麦克斯韦在法拉第实验的基础上，总结了宏观电磁现象的规律，于1864年提出了一套偏微分方程来表达电磁现象的基本规律，称为麦克斯韦方程组，是经典电磁场理论的基本方程。

## 二、为什么开设本课程

1. 电子技术的发展的各个方面几乎与场和波有关。

■ 经过100多年的发展，电子技术已应用到国民经济和生活的各个方面。

■ 电磁发展历史



1887年，德国科学家赫兹用火花隙激励一个环状天线，用另一个带隙的环状天线接收，证实了麦克斯韦关于电磁波存在的预言，这一重要的实验导致了后来无线电报的发明。从此开始了电磁场理论应用与发展时代。

无线电报

1895年，马可尼成功地进行了2.5公里距离的无线电报传送实验。1896年，波波夫进行了约250米距离的类似试验，1899年，无线电报跨越英吉利海峡的试验成功；1901年，跨越大西洋的3200公里距离的试验成功。

马可尼以其在无线电报等领域的成就，获得了1909年的诺贝尔奖金物理学奖。无线电报的发明，开始了利用电磁波时期。

有线电话

1876年，(美) A.G. 贝尔在美国建国100周年博览会上展示了他所发明的有线电话。此后，有线电话便迅速普及开来。

广播

1906年，(美) 费森登用50千赫频率发电机作发射机，用微音器接入天线实现调制，使大西洋航船上的报务员听到了他从波士顿播出的音乐。1919年，第一个定时播发语言和音乐的无线电广播电台在英国建成。次年，在美国的匹兹堡城又建成一座无线电广播电台。



## 二、为什么开设本课程

1. 电子技术的发展的各个方面几乎与场和波有关。

■ 经过100多年的发展，电子技术已应用到国民经济和生活的各个方面。

■ 电磁发展历史

### 雷达

1936年，（英）瓦特设计的警戒雷达最先投入了运行。有效地警戒了来自德国的轰炸机。1938年，美国研制成第一部能指挥火炮射击的火炮控制雷达。1944年，能够自动跟踪飞机的雷达研制成功。1945年，能消除背景干扰显示运动目标的显示技术的发明，使雷达更加完善。在整个第二次世界大战期间，雷达成了电磁场理论最活跃的部分。

都离不开场和波

### 卫星通信

1958年，美国发射低轨的“斯科尔”卫星成功，这是第一颗用于通信的试验卫星。1964年，借助定点同步通信卫星首次实现了美、欧、非三大洲的通信和电视转播。1965年，第一颗商用同步卫星投入运行。1969年，大西洋、太平洋和印度洋上空均已布有定点同步通信卫星，卫星地球站已遍布世界各国，这些卫星地球站又和本国或本地区的通信网接通。

### 全球定位系统 (GPS)



1957年卫星发射成功后，人们试图将雷达引入卫星，实现以卫星为基地对地球表面及近地空间目标的定位和导航。1958年底，美国开始研究实施这一计划，于1964年研究成功子午仪卫星导航系统。1973年美国提出GPS计划，其含义是利用导航卫星进行测时和测距。1990年最终的GPS方案是由21颗工作卫星和3颗在轨备用卫星组成。

## 二、为什么开设本课程

1. 电子技术的发展的各个方面几乎与场和波有关。

■ 经过100多年的发展，电子技术已应用到国民经济和生活的各个方面。

通信 { 无线通信（长中短波）  
卫星通信（微波）  
移动通信：各国使用情况不一样（六种体制）

中波 → 短波 → 超短波 → 分米波  
300KHz—3MHz ~ 30MHz ~ 300MHz (0.3G) ~ 3GHz

我国： 900MHz : 879 ~ 898.975  
924 ~ 943.975MHz } 1984

## 二、为什么开设本课程

---

光纤通信:  $0.75\ \mu\text{m} \sim 1.16\ \mu\text{m}$   
 $1.6\ \mu\text{m}$  范围内

广播、雷达、军舰等

直到1873年Maxwell'equation建立 →  
揭示电磁波存在

后来赫兹在实验室中发现EMW

## 二、为什么开设本课程

- 频段利用：20世纪初：航海、长波通信（频带窄）
- 中波通信  $0.3\text{MHz} \sim 3\text{MHz}$
- 短波通信  $3\text{MHz} \sim 30\text{MHz}$
- 超短波通信  $30\text{MHz} \sim 300\text{MHz}$
- 微波通信  $300\text{MHz} \sim 3000\text{GHz}$
- 红外通信

在各波段中，从长波—短波，研究它们常用电路分析方法，然而到了微波→光波，研究它们需要用场和波的理论方法。U，i在长波—短波中有明确、实际的物理意义。在微波、光波则无。



## 二、为什么开设本课程

### ■ 2. 微波要用场与波的理论来分析

微波在工程上有时称为射频。U, I无实际意义。

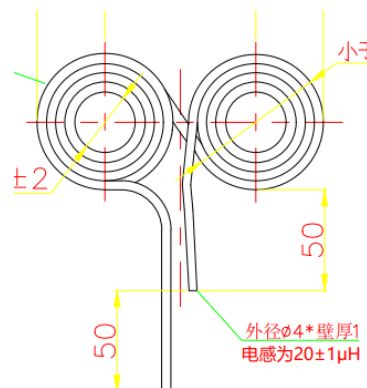
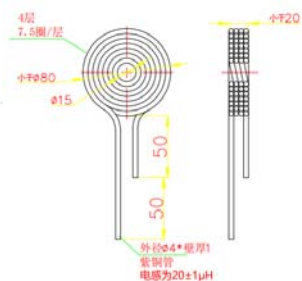
### ■ 3. 时代发展的要求

电子设备倍增：每4—5年翻一番（数量）

接收功率： $10^{-12}$  W. 灵敏度极高

发射功率倍增

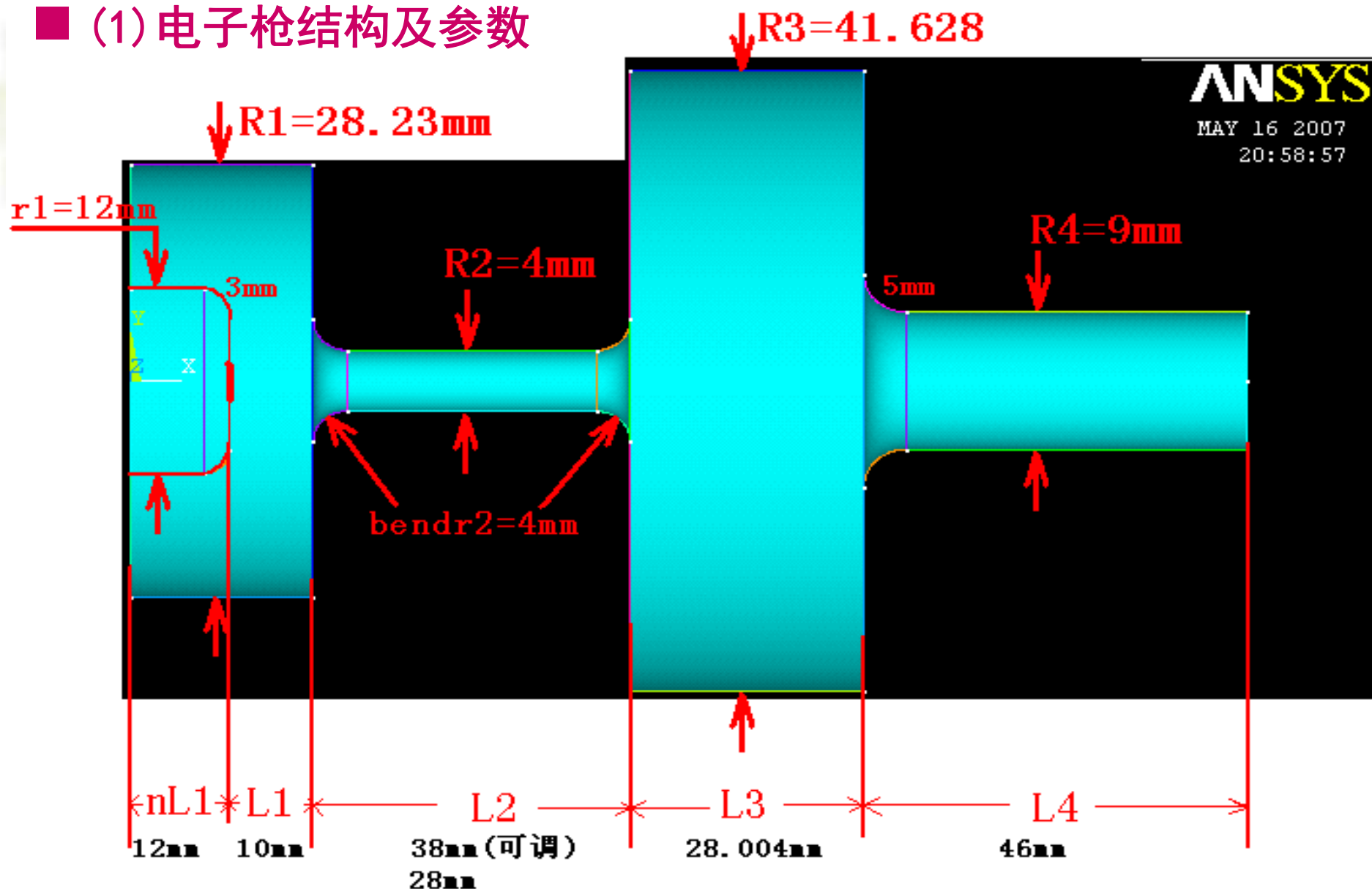
频带利  
用率高  
日益加宽



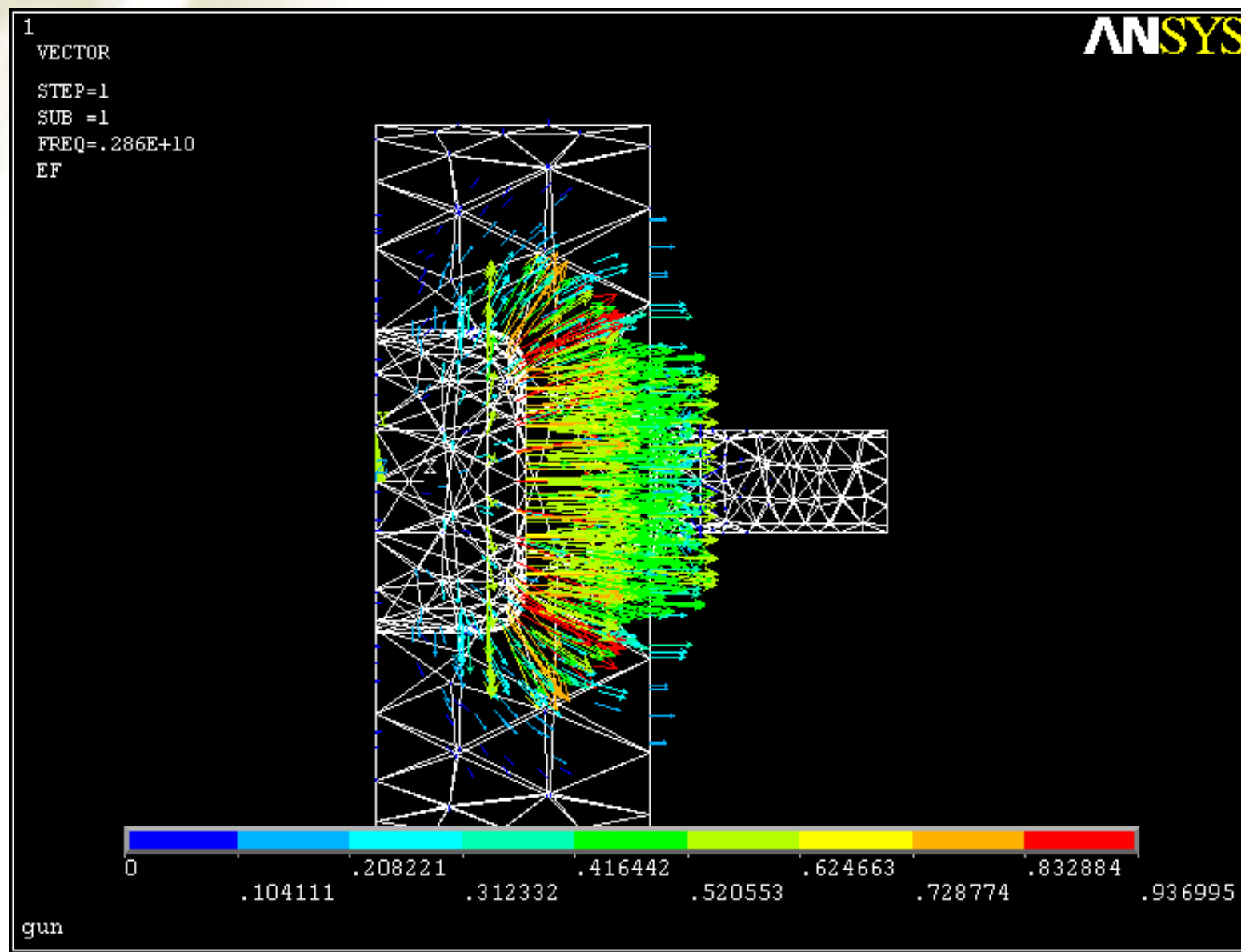


# 电子枪腔体设计

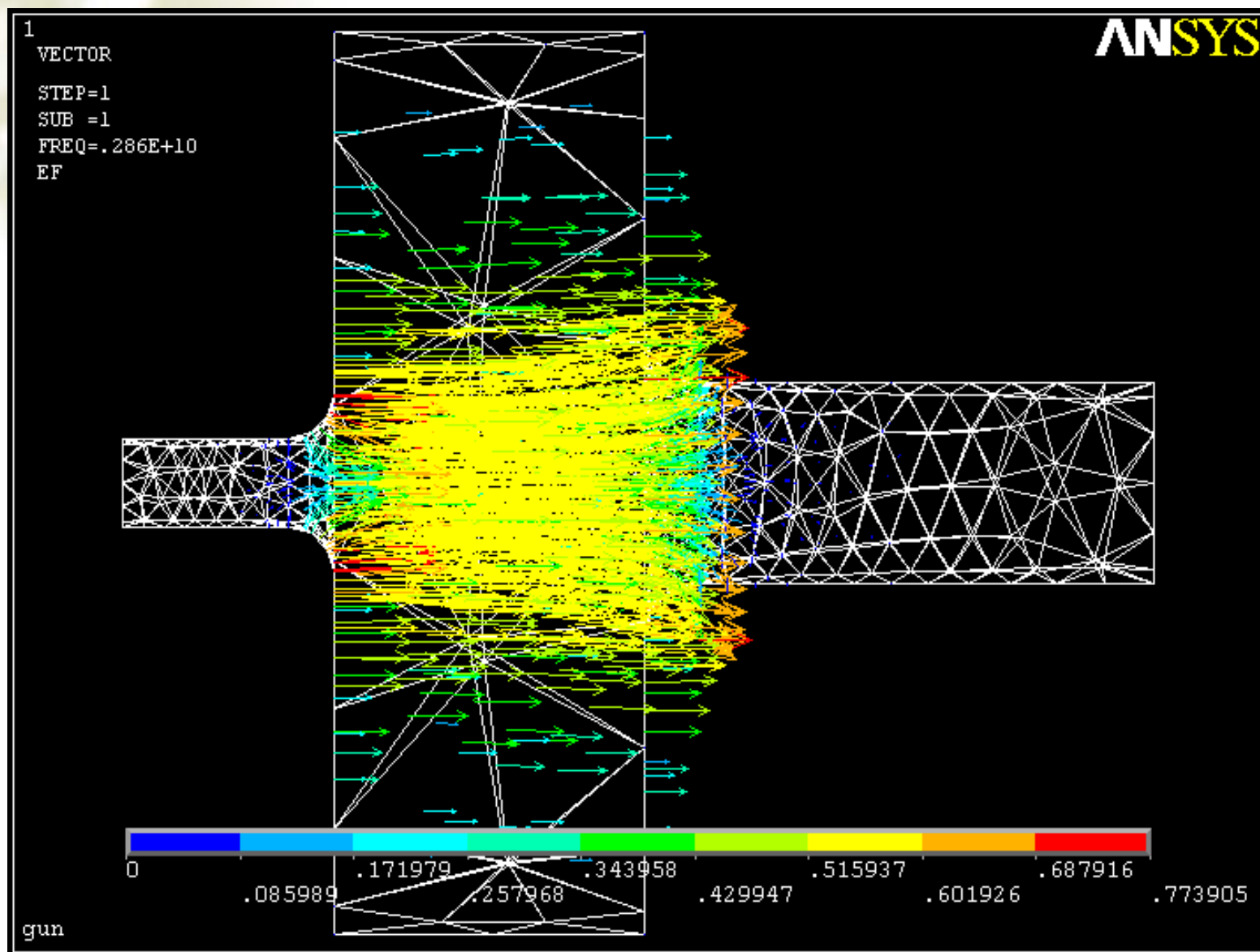
## ■ (1) 电子枪结构及参数



## (2) 电子枪第一腔体结构及场分布



# 电子枪第二腔电场分布



## 二、为什么开设本课程

---

- → 还有电波传播和辐射造成恶劣的电磁环境
- → 电磁兼容EMC (Electromagnetic Campitable)
- → 电子设备之间收发电磁波兼容性问题
- 电磁与人 (电子固有频率周期) 之间关系 eg  
: 人和手机
- → 都需研究电磁波

## 1.2 Field concept

---

■ Prior to undertaking the study of electromagnetic fields we must define the concept of a field:

■ **1.Field Concept:**

When we define the behavior of a quantity in a given region in terms of a set of values (or functions), we refer to this behavior of the quantity as a field.

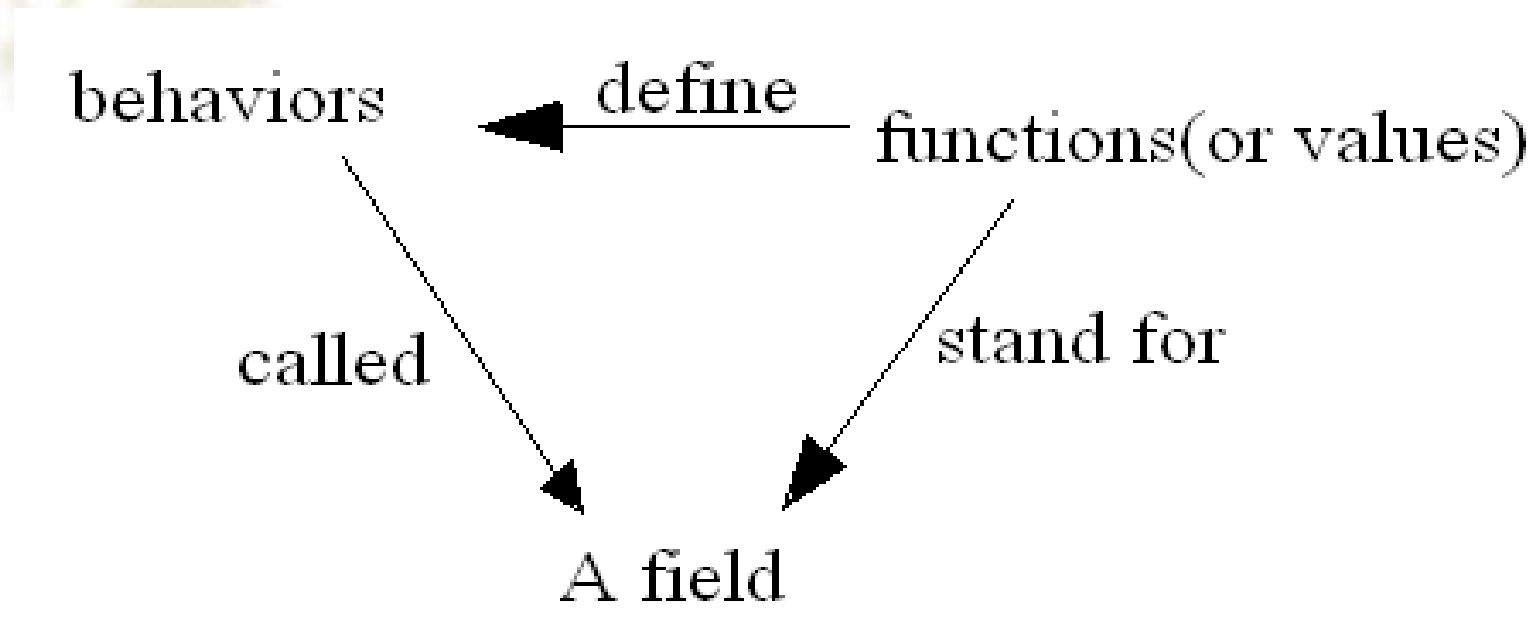
■ **2. field function:**

A set of values (or functions) that can describe the behavior of the quantity in a given region stand for a field.

## 1.2 Field concept

---

### ■ Relationships between them:



Eg. A charge produces an electric field, its magnitude can be given as

Function:  $f(r) = Q/r$

## 1.2 Field concept

---

■ The values (or functions) at each point in that region of a field can either be measured experimentally or predicated by carrying out certain mathematical operations on some other quantities.

### ■ 3. Characteristics of a field

- ① A field occupies a space (a region)
- ② A field describes a physical system for all points in a given region in terms of a set of values (or functions).
- ③ In a given region, the functions (values) are continuous except for finite several points or some surfaces.



# 1.3 Field classifications

---

## 1. Static fields

If a field does not vary with time, we refer to it as a static field.

Fields are constant in time, Functions only vary with points in space.

Eg. Electrostatic fields; magnetostatic fields.

## 2. Time-varying fields

If a field varies with time, we refer to it as a time-varying field.

- Fields are variable in time, its functions vary with time, besides all points in space.

## 1.3 Field classifications

---

**Eg. Faraday's law of induction:**

**A time-varying magnetic field gives rise to a time-varying electric field and vice versa.**

■ **Scalar and vector fields**

**-----will be studied in chapter 2.**

# **Review:**

---

- **1. Field Concept(homework)**
- **2. Field function (homework)**
- **3. Characteristics of a field**
- **4. Field classifications**
  - Static fields and Time-varying fields
  - Vector and scalar fields



*The end*