



陕西师范大学  
SHAANXI NORMAL UNIVERSITY

$x$ -物理实验汇报

计算模拟与学科交叉实验

# 主要内容:

## ➤ 计算模拟背景

## ➤ 实验

– 1. 神经元发放及其动力学模拟

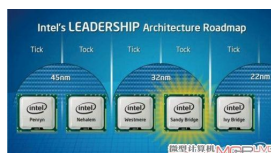
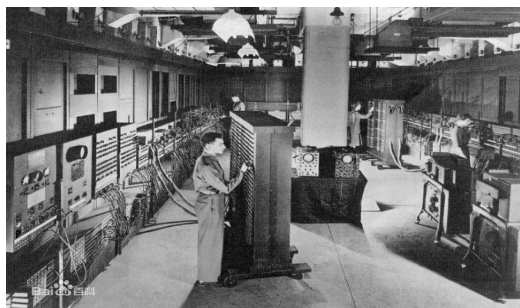
– 2. 斑图动力学

– 3. 金融物理（风险与收益博弈实验）

## ➤ 展望

# 1. 计算模拟背景

科学研究领域继观测实验、理论分析之后计算模拟也成为科学研究的重要一支(1,2)。



计算机的技术发展

**ENIAC** (Electronic Numerical And Calculator)  
世界上第一台计算机 (模拟弹道)

计算模拟

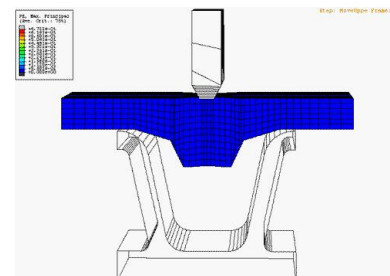
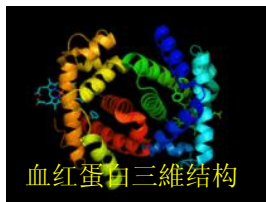
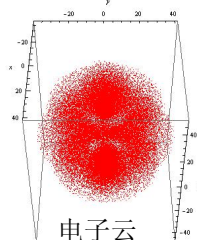
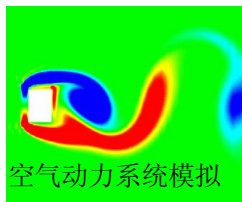
数学、物理

化学

生物

工程、技术

经济、社会科学



1. Eric B. Winsberg, Science in the Age of Computer Simulation. 2010.

2. 弗兰科尔(Daan Frenkel), 分子模拟入门, 2010

# 虚拟仿真实验在教学上大量应用



- ❖ 虚拟仿真技术,可以丰富教学内容,突破时空限制克服实验室器件品种
- ❖ 突破规格和数量不足和仪器损坏的困难
- ❖ 进行极端条件的实验模拟(高压、高温、低温等)

- 虚拟仿真实验教学是高等教育信息化建设和实验教学示范中心建设的重要内容。

信息名称: 教育部办公厅关于开展2015年国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知  
信息索引: 300008-07-2015-0011-1 生成日期: 2015-09-01 发文机构: 教育部办公厅  
发文字号: 教高厅函〔2015〕31号 信息类型: 高等教育  
内容概述: 教育部办公厅决定2015年继续开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作。

## 教育部办公厅

教高厅函〔2015〕24号

### 教育部办公厅关于开展2015年国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知

各省、自治区、直辖市教育厅(教委),新疆生产建设兵团教育局,中国人民解放军总参谋部训练部:

为贯彻落实《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高〔2012〕4号)精神,根据《教育信息化十年发展规划(2011-2020年)》,我部决定2015年继续开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作。现将有关事项通知如下:

#### 一、工作指导思想

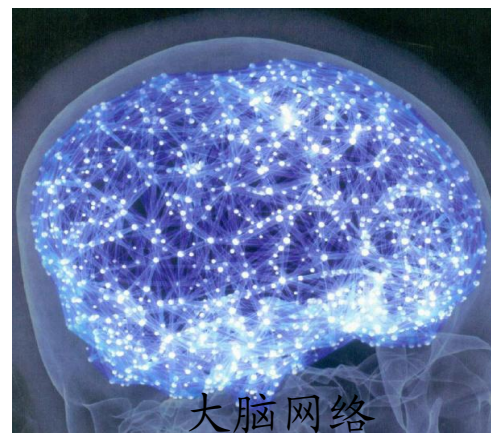
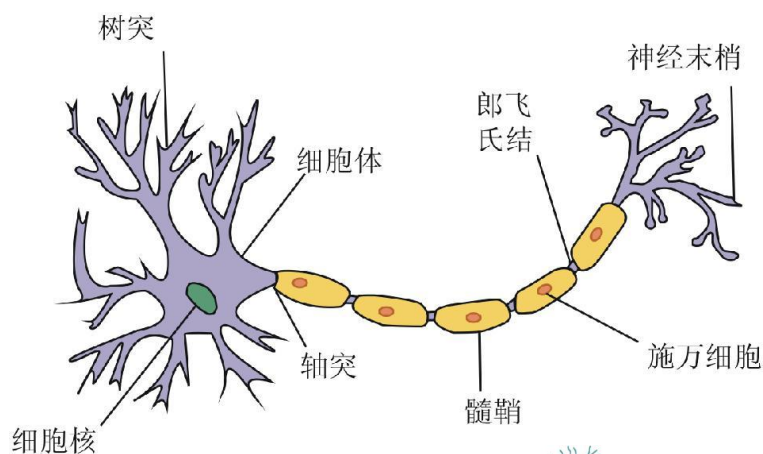
虚拟仿真实验教学是高等教育信息化建设和实验教学示范中心建设的重要内容,是学科专业与信息技术深度融合的产物。虚拟仿真实验教学中心建设工作坚持“科学规划、共享资源、突出重点、提高效率、持续发展”的指导思想,以提高高等学校学生创新精神和实践能力为宗旨,以共享优质实验教学资源为核心,以建设信息化实验教学资源为重点,持续推进高等学校实验教学信息化建设和实验教学改革与发展。

2015年国家级虚拟仿真实验教学中心名单<sup>[3]</sup>

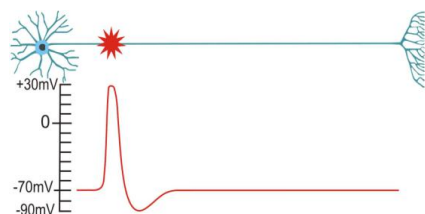
序号	学校名称	中心名称
1	北京大学	考古虚拟仿真实验教学中心
2	清华大学	自动化系统虚拟仿真实验教学中心
3	北京交通大学	经济管理虚拟仿真实验教学中心
4	北京航空航天大学	机械与控制工程虚拟仿真实验教学中心
5	北京理工大学	工程光学虚拟仿真实验教学中心
6	北京科技大学	钢铁生产全流程虚拟仿真实验教学中心
7	北京化工大学	化工产品全生命周期虚拟仿真实验教学中心
8	北京建筑大学	建筑用能虚拟仿真实验教学中心
9	中国农业大学	水利与土木工程虚拟仿真实验教学中心
10	北京师范大学	心理学虚拟仿真实验教学中心
11	首都师范大学	城市环境过程虚拟仿真实验教学中心
12	中央财经大学	经管学科虚拟仿真实验教学中心

# 实验1：神经元发放及其动力学模拟

神经系统由大约一万亿个神经元构成



神经元的电活动是神经系统活动的基础



动作电位沿神经元轴突



本实验基于著名的 Hodgkin-Huxley 神经元模型对神经元膜表面的电位及离子电流等放电行为进行研究。

## 实验目的:

- 了解神经元放电的生物物理机制, 模拟神经元放电过程
- 对比神经元放电过程中不同离子电流随时间的演化
- 对比不同刺激下神经元放电行为差异

## 实验原理:

Hodgkin-Huxley神经元模型是基于离子通道电导的数学模型, 描述了神经元动作电位的产生和传播的机制。

$$I = C_M \frac{dV}{dt} + \bar{g}_K n^4 (V - V_K) + \bar{g}_{Na} m^3 h (V - V_{Na}) + \bar{g}_l (V - V_l),$$

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_n (1 - n) - \beta_n n,$$

$$\frac{dm}{dt} = \alpha_m (1 - m) - \beta_m m,$$

$$\frac{dh}{dt} = \alpha_h (1 - h) - \beta_h h,$$

$$\alpha_n = 0.01 (V + 10) / \left( \exp \frac{V + 10}{10} - 1 \right),$$

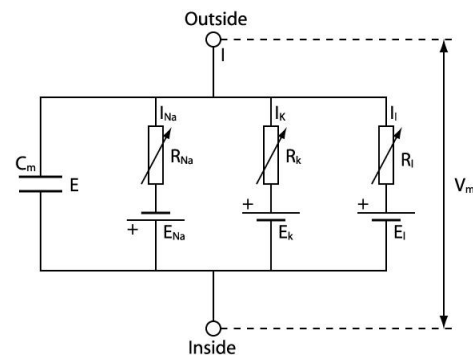
$$\beta_n = 0.125 \exp (V/80),$$

$$\alpha_m = 0.1 (V + 25) / \left( \exp \frac{V + 25}{10} - 1 \right),$$

$$\beta_m = 4 \exp (V/18),$$

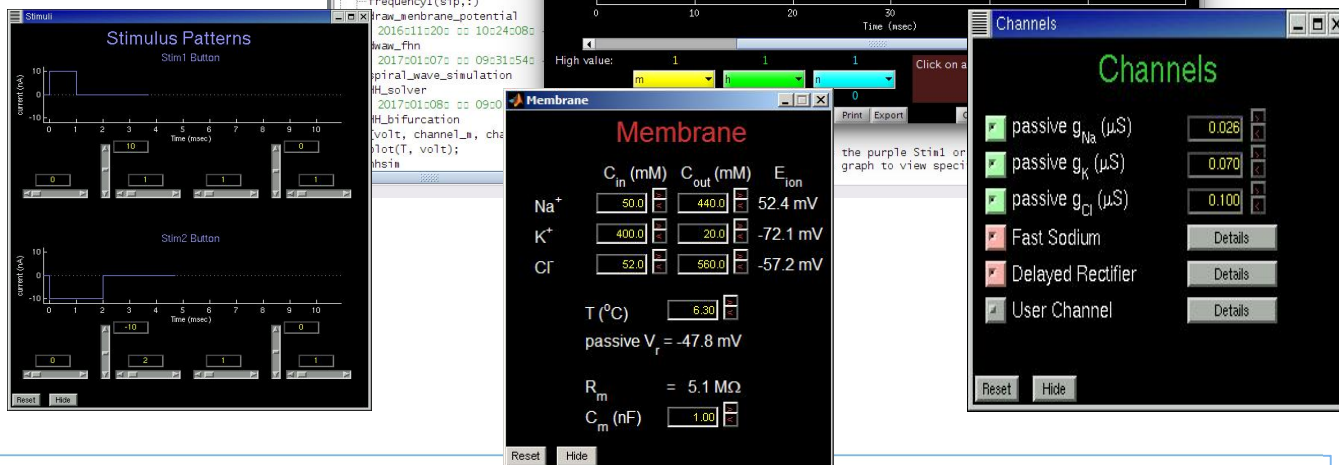
$$\alpha_h = 0.07 \exp (V/20),$$

$$\beta_h = 1 / \left( \exp \frac{V + 30}{10} + 1 \right).$$



## 实验步骤:

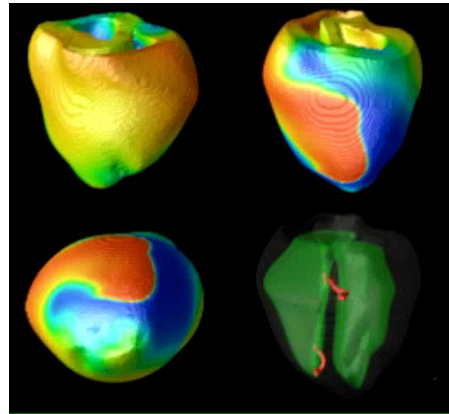
# Hodgkin-Huxley Simulator



- 模拟神经元在不同直流刺激下放电模式，计算神经元随直流刺激增加的 **频率-电流曲线**
- 调节离子通道电导，模拟神经元放电过程中不同离子电流随时间的演化
- 模拟离子通道阻断剂作用下，神经元的在不同刺激电流下的放电行为

# 实验2: 斑图动力学模拟

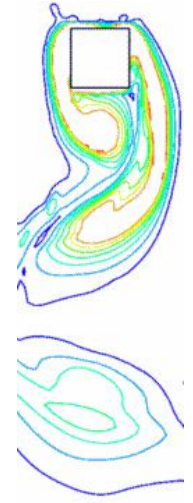
斑图(pattern)是在空间或时间上具有某种规律性的非均匀宏观结构, 普遍存在于自然界中。



心脏系统电活动的斑图



化学反映系统斑图



流体对流斑图

本实验基于别诺索夫(Belousov)和柴波廷斯基(Zhabotinsky)BZ振荡反应观察其中产生的各类斑图; 利用二维FHN反映扩散方程对不同斑图进行模拟研究。

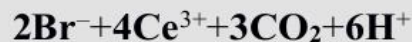
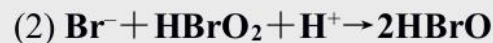
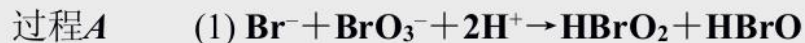


## 实验目的:

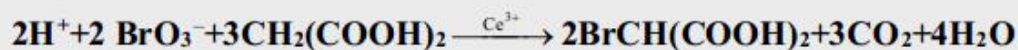
- 了解非线性系统内形成的各类斑图
- 观察BZ振荡反应中产生的各类斑图，了解BZ振荡反应的基本原理
- 利用计算机模拟模拟螺旋波、靶波
- 初步理解耗散结构系统远离平衡的非线性动力学机制

## 实验原理:

### 1. BZ振荡反应的基本原理



该体系的总反应为



振荡的控制离子是 $\text{Br}^-$ 。

## 2. 反应扩散方程基本原理

BZ反应扩散系统可以采用双变量的FHN反应扩散方程构成二维格点网络来模拟:

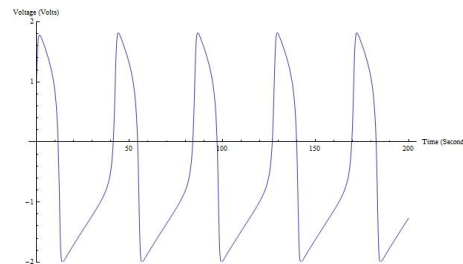
$$\frac{\partial u}{\partial t} = \varepsilon^{-1}u(1-u)\left(u - \frac{u+b}{a}\right) + D\nabla^2u + U_{filed} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = f(u) - v \quad (2)$$

$$f(u) = \begin{cases} 0 & 0 \leq u < 1/3; \\ 1 - 6.75u(u-1)^2 & 1/3 \leq u < 1; \\ 1 & u < 1. \end{cases}$$

其中:  $u$  和  $v$  分别表示反应物的浓度。

$U_{filed}$  表示外界势场。



变量 $u$ 随时间变化。

## 实验步骤:

### 1) 观察BZ振荡反应

1.1 按照以下顺序和体积量取对应溶液倒入烧杯中混合:

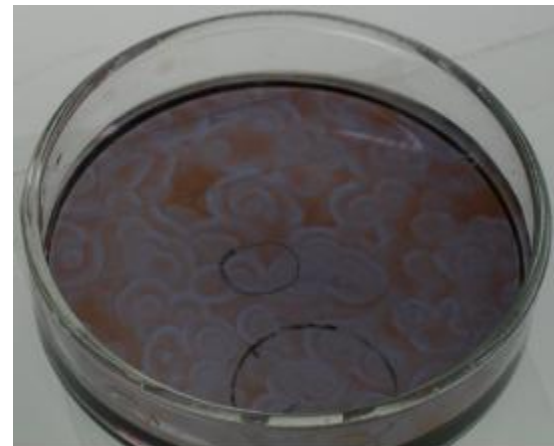
A. 2ml of 1 M NaBr

B. 4 ml of 1 M malonic acid

C. 12 ml 3 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

D. 11 ml of distilled water

E. 21 ml of 2 M NaBrO<sub>3</sub>

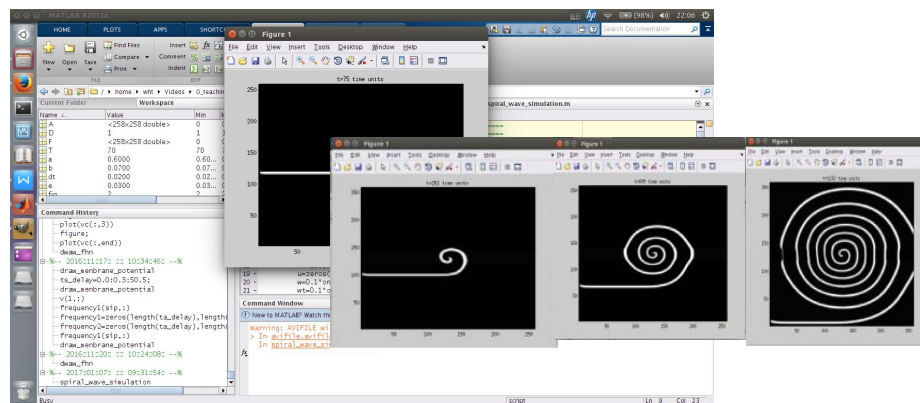


图一

1.2 将烧杯中混合也倒入到培养皿中, 轻微震动培养皿后, 观察混合液表面斑图变化 (例如图一)。

### 2) BZ振荡反应中螺旋波、靶波的模拟和动力学

- 螺旋波产生的条件
- 螺旋波中心点的运动
- 改变介质参数, 模拟研究螺旋波破损



螺旋波虽时间的演化模拟

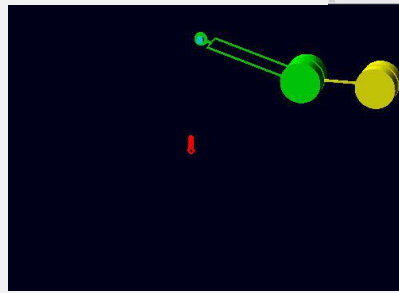
# 3. 展望

- 计算模拟的方法在基础科学研究和工程技术前沿中均取得了丰硕的成果
- 在教学方面可做的也很多
- **设想:**
  - 结合大学物理实验，指导学生进行计算、模拟、分析。



- 设计开放性实验

复摆的模拟



- 谢谢大家！