

一、物理原理

1.1 狭义相对论

1.1.1 时间延缓效应

时间延缓是狭义相对论中的一个基本现象。当一个物体以高速运动时，其运动的时间在静止观察者看来将变得更慢。这个效应可以用以下公式描述：

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (1)$$

其中， t 是静止观察者测量的时间， t_0 是运动物体自身测量的时间（即固有时间）， v 是物体的速度， c 是光速。这个公式表明，当物体的速度接近光速时，时间延缓效应将变得非常显著。

1.1.2 长度收缩效应

长度收缩是另一个狭义相对论的基本现象。当一个物体以高速运动时，其沿运动方向的长度在静止观察者看来将变得更短。这个效应可以用以下公式描述：

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (2)$$

其中， L 是静止观察者测量的长度， L_0 是物体在自身参考系中测量的长度（即固有长度）， v 是物体的速度， c 是光速。这个公式表明，当物体的速度接近光速时，长度收缩效应将变得非常显著。

1.2 量子隧穿效应

量子隧穿效应是一种量子力学现象，描述了微观粒子（如电子）在碰到比其能量更高的势垒时，仍然有一定概率穿过势垒，而不是被完全反射回来。这一现象无法用经典物理解释，但在量子力学中，由于粒子具有波动性，粒子在势垒中的波函数并不会完全消失，而是会出现衰减，并在势垒另一侧形成透射波。

1.2.1 波函数的衰减与透射

波函数描述了量子粒子的位置概率分布。在势垒区域，波函数会发生衰减，这意味着粒子在势垒内的存在概率迅速减少。然而，如果势垒不是无限宽，波函数会在势垒的另一侧以较低的幅度透射出来，这部分透射波对应粒子成功穿越势垒的概率。公式如下：

$$T \propto e^{-2\sqrt{2m(V_0-E)} \cdot d/\hbar} \quad (3)$$

其中， T 是透射系数， m 是粒子的质量， V_0 是势垒高度， E 是粒子的能量， d 是势垒宽度， \hbar 是约化普朗克常数。

1.2.2 能量守恒与波包传播

在量子隧穿中，粒子的总能量是守恒的。尽管粒子能量低于势垒高度，但由于量子力学中的波动性，波包在传播过程中会展示出复杂的行为，包括衰减、反射和透射。代码中通过绘制波包，模拟了这种传播过程。

1.2.3 势垒高度与波函数能量的关系

势垒高度决定了波函数在势垒中的衰减速度以及透射波的强度。当粒子的能量高于势垒高度时，波函数不会衰减，而是全部透射；当粒子能量低于势垒高度时，波函数在势垒内快速衰减，透射波的强度显著降低。公式如下：

$$k = \sqrt{\frac{2m(V_0 - E)}{\hbar^2}} \quad (4)$$

其中， k 是衰减系数， m 是粒子的质量， V_0 是势垒高度， E 是粒子的能量， \hbar 是约化普朗克常数。

1.3 天体运动仿真

1.3.1 万有引力定律

天体运动的模拟基于牛顿的万有引力定律，该定律描述了两个物体之间的引力。公式为：

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (5)$$

其中， F 是引力大小， G 是引力常数， m_1 和 m_2 是两个物体的质量， r 是两个物体质心之间的距离。

1.3.2 向心力与轨道运动

在轨道运动中，引力提供了向心力，使得天体沿圆轨道或椭圆轨道运动。向心力公式为：

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (6)$$

其中， F_c 是向心力， m 是运动物体的质量， v 是运动物体的速度， r 是轨道半径。

为了维持稳定轨道，引力 F 必须等于向心力 F_c ：

$$G \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad (7)$$

简化得到轨道速度公式：

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}} \quad (8)$$

1.3.3 更新加速度

根据引力计算加速度 a ，加速度由引力除以轨道天体质量 m 得到：

$$a_x = \frac{F_x}{m}, \quad a_y = \frac{F_y}{m} \quad (9)$$

1.3.4 更新加速度

使用欧拉方法，更新速度和位置：

$$\begin{aligned} v_x &= v_x + a_x \Delta t, \quad v_y = v_y + a_y \Delta t \\ x &= x + v_x \Delta t, \quad y = y + v_y \Delta t \end{aligned} \quad (10-13)$$

1.4 单摆实验

1.4.1 摆动周期

单摆由一质量为 m 的小球（摆锤）和一长度为 L 的细绳组成，固定在一个支点上。当摆锤被拉至一定初始角度并释放时，单摆会以周期性运动来回摆动。对于小角度摆动（通常不超过 5° ），单摆的运动可以近似为简谐运动，其周期 T 由以下公式给出：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (14)$$

其中， T 是单摆的周期， L 是摆长， g 是重力加速度。

1.4.2 运动方程

单摆的运动方程基于牛顿第二定律，可以表示为：

$$\theta'' + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad (15)$$

对于小角度摆动， $\sin \theta \approx \theta$ ，简化为：

$$\theta'' + \frac{g}{L} \theta = 0 \quad (16)$$

这是一个简谐运动方程，其解为：

$$\theta(t) = \theta_0 \cos\left(\sqrt{\frac{g}{L}}t + \phi\right) \quad (17)$$

其中， θ_0 是初始角度， ϕ 是初相位。

1.5 抛体运动

抛体运动是指物体以一定的初速度和角度抛出后，在重力作用下的运动。物体的轨迹为抛物线，可以通过以下公式进行描述。

1.5.1 水平运动

$$x(t) = v_0 \cos \theta \cdot t \quad (18)$$

其中， $x(t)$ 是水平位移。 v_0 是初速度， θ 是抛射角度， t 是时间。

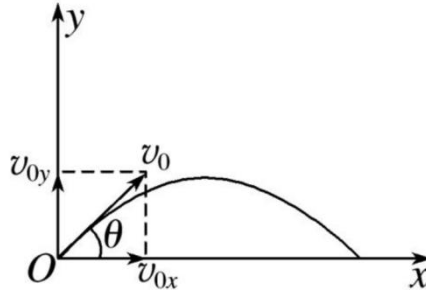


图1 斜抛运动示意图

1.5.2 垂直运动

$$y(t) = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (19)$$

其中， $y(t)$ 是垂直位移， g 是重力加速度。

通过这两个公式，可以计算物体在任意时间点的位移，从而绘制出弹道轨迹。

1.6 麦克斯韦-玻尔兹曼分布

1.6.1 气体分子的运动行为（弹性碰撞）

气体分子通过相互碰撞和与容器壁的碰撞不断改变方向和速度。这种运动行为符合经典物理中的动理论模型，其宏观表现即为气体的压力、体积和温度等性质的变化。

1. 碰撞检测公式

要检测两个粒子是否发生碰撞，可以计算它们之间的距离 d 并与它们的半径之和 $r_1 + r_2$ 比较。如果 $d \leq r_1 + r_2$ ，则发生碰撞。

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (20)$$

其中 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 是两个粒子的坐标，是两个粒子之间的距离。

2. 弹性碰撞速度交换公式

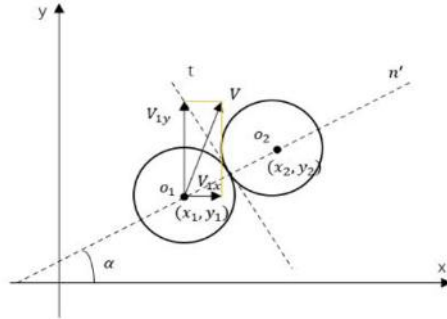


图2 二维分子碰撞示意图

在弹性碰撞中，假设两个粒子的速度分别为 v_1 和 v_2 ，碰撞后的速度分别为 v'_1 和 v'_2 。碰撞后的速度可以通过以下公式计算：

$$v'_1 = v_1 - \frac{2m_2}{m_1 + m_2} \left((v_1 - v_2) \cdot \frac{r}{|r|} \right) \frac{r}{|r|} \quad (21)$$

$$v'_2 = v_2 - \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \left((v_2 - v_1) \cdot \frac{r}{|r|} \right) \frac{r}{|r|} \quad (22)$$

其中 v_1 和 v_2 是碰撞前两个粒子的速度向量。 v'_1 和 v'_2 是碰撞后两个粒子的速度向量。 m_1 和 m_2 是两个粒子的质量。 $r = r_1 - r_2$ 是两个粒子之间的相对位置向量。

简化的弹性碰撞公式：

如果两个粒子的质量相等（即 $m_1 = m_2$ ），弹性碰撞后的速度可以简化为：

$$v'_1 = v_2 \quad v'_2 = v_1 \quad (23)$$

这意味着在弹性碰撞中，两个粒子的速度向量将会交换。

3. 速度旋转公式

在程序中，还需要将速度分量旋转到碰撞方向，再旋转回原来的方向。用于旋转速度分量的公式如下：

$$v'_x = v_x \cos \theta + v_y \sin \theta \quad (24)$$

$$v'_y = v_y \cos \theta - v_x \sin \theta \quad (25)$$

其中， v_x 和 v_y 是原始速度分量， θ 是旋转角度（碰撞方向的角度）， v'_x 和 v'_y 是旋转后的速度分量。

2.6.2 麦克斯韦-玻尔兹曼分布

麦克斯韦-玻尔兹曼分布定律描述了在一定温度下，气体分子速度的分布情况。根据该定律，气体分子的速度分布呈现为一个概率分布函数，具体公式为：

$$f(v) = 4 \pi \left(\frac{m}{2 \pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (26)$$

其中， $f(v)$ 是速度为 v 的分子数密度函数， m 是气体分子的质量， k 是玻尔兹曼常数， T 是绝对温度。

该公式表明，在给定温度下，大多数分子的速度集中在某个值附近，少数分子的速度会非常高或非常低，形成一个钟形曲线。

1.6.3 温度与气体分子运动的关系

气体的温度与分子的平均动能成正比关系，温度越高，气体分子的平均速度越大。通过增加系统的温度，分子的动能增大，从而加剧分子之间的碰撞频率和强度。这一现象在模拟中通过调整温度参数来观察分子运动速度和分布的变化。

1.7 黑体辐射

黑体辐射是指理想化黑体在不同频率下的辐射强度，完全由黑体的温度决定。根据普朗克定律，黑体在特定温度下的辐射光谱可以用公式描述。通过调整温度，可以观察不同温度下的辐射光谱，了解黑体辐射的特性。

1.7.1 普朗克定律

普朗克定律描述了黑体辐射的频谱分布，公式如下：

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (27)$$

其中， $B(\lambda, T)$ 是波长为 λ 时的辐射强度， h 是普朗克常数， c 是光速， k 是玻尔兹曼常数， T 是黑体的绝对温度，单位为开尔文 (K)。

1.7.2 维恩位移定律

维恩位移定律表明黑体辐射的峰值波长与温度成反比关系：

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (28)$$

其中， λ_{\max} 是辐射强度的峰值波长， b 是维恩位移常数， T 是黑体的绝对温度。

1.8 杨氏双缝干涉实验

杨氏双缝干涉实验展示了光的波动性和干涉现象。相干光源通过两个狭缝后形成两束相干光波，这些光波在屏幕上叠加形成干涉条纹。根据波的相位差，可以形成明条纹和暗条纹。

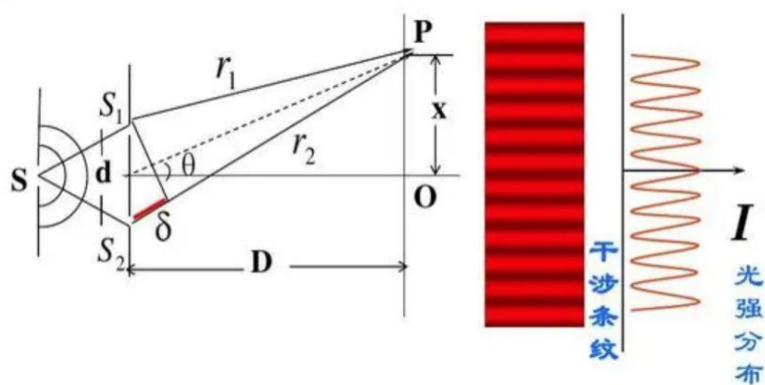


图 3 杨氏双缝干涉实验示意图

1.8.1 干涉条件

条纹间距和位置可以通过以下公式计算：

条纹间距：

$$\Delta y = \frac{\lambda D}{d} \quad (29)$$

其中， Δy 是相邻条纹之间的距离， λ 是入射光的波长， D 是狭缝到屏幕的距离， d 是双缝之间的距离。

相位差：

$$\delta = \frac{d \cdot X}{D} \quad (30)$$

其中 X 是屏幕上某一点的横向位置。

1.8.2 强度公式

光的强度分布是由两束相干光波的相对相位差引起的。干涉条纹的强度可以通过以下公式描述：

$$I = I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right) \quad (31)$$

其中， I 是屏幕上某点的光强度， I_0 是入射光的强度， d 是双缝间距， θ 是该点相对于双缝中心的角度， λ 是光的波长。

在实际计算中，通常使用以下形式来计算屏幕上某位置的光强度：

$$I = I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi dx}{\lambda} \right) \quad (32)$$

其中 x 是屏幕上某点的横向距离。

1.9 光路设计

光路设计是利用光学原理来规划和控制光线在系统中的传播路径，以实现特定的功能或效果。在光学系统中，光路设计通常涉及反射、折射、透镜成像、光束的引导与聚焦等多种物理现象。这些原理是光学设计的基础，确保光线能够按照预期的路径传播并达到预期的效果。

1.9.1 光学三定律

光学三定律是光学中描述光线行为的三个基本定律，它们包括：光的直线传播定律、反射定律和折射定律。这些定律是几何光学的基础，广泛应用于各种光学系统的设计与分析。

1) 光的直线传播定律

光在均匀且透明的介质中沿直线传播。均匀介质是指介质的折射率恒定，光速在介质中保持不变。

2) 反射定律

光的反射是指光线遇到障碍物时，改变原来传播方向，返回原介质中的现象。反射定律描述了入射光线与反射光线之间的关系。

反射定律：反射定律描述了光线反射时，入射角与反射角的关系，公式如下：

$$\theta_i = \theta_r \quad (33)$$

其中， θ_i 是入射角， θ_r 是反射角，且两者相等。

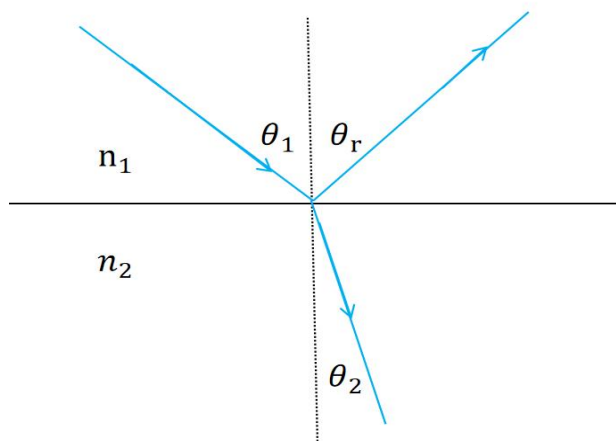


图4 入射、反射、折射光线示意图

3) 折射定律

光的折射是指光线在不同介质中传播时，由于介质的折射率不同，光线的传播方向发生改变的现象。折射定律（也称斯涅尔定律）描述了这一现象。

折射定律：折射定律描述了光线通过两种不同介质时，入射角和折射角之间

的关系，公式如下：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (34)$$

其中， n_1 和 n_2 分别是第一介质和第二介质的折射率， θ_1 是入射角， θ_2 是折射角。

1.9.2 透镜成像

透镜的焦距和成像公式：透镜是光路设计中常用的元件，用于聚焦或发散光束。透镜的成像能力由其焦距决定，焦距与物距、像距之间的关系由透镜成像公式给出：

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \quad (35)$$

其中， f 是透镜的焦距， d_o 是物距， d_i 是像距。透镜成像原理在显微镜、摄像头等光学设备中广泛应用。

1.10 粒子在电场中的运动

本实验模拟带电粒子在均匀电场中的运动，通过设置粒子的电荷、质量、电场强度、初速度和电场方向，观察粒子的运动轨迹。实验主要展示了电场力对带电粒子运动的影响，以及如何通过改变各个参数来观察不同的运动模式。

1.10.1 电场力

电场对带电粒子施加的力称为电场力，公式为：

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad (36)$$

其中 \mathbf{F} 是电场力， q 是粒子的电荷量， \mathbf{E} 是电场强度。

1.10.2 加速度

根据牛顿第二定律：

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad (37)$$

结合电场力公式，可以得出粒子的加速度：

$$\mathbf{a} = \frac{q\mathbf{E}}{m} \quad (38)$$

其中 \mathbf{a} 是粒子的加速度， m 是粒子的质量。

1.10.3 运动方程

带电粒子的运动可以分解为水平方向和垂直方向的独立运动：

1. 水平方向：粒子以初速度 v_0 匀速运动。

$$x(t) = v_0 t \quad (39)$$

垂直方向：粒子在电场力作用下做匀加速运动。

$$y(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{qE}{m} \right) t^2 \quad (40)$$

1.11 电场线演示

1.11.1 电场与电场线

电场：电场是由电荷产生的，它表示电荷在空间中每一点对其他电荷施加力的能力。电场的强度在空间中每一点的方向和大小由该点的电场矢量决定。

电场线：电场线是一种表示电场方向和强度的视觉工具。电场线的方向表示电场的方向，其密度表示电场的强度。电场线从正电荷发出并指向负电荷。

1.11.2 库仑定律

定义：库仑定律描述了两点电荷之间的相互作用力。力的大小与电荷量的乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比。公式如下：

$$F = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad (41)$$

其中， F 是电荷之间的作用力， q_1 和 q_2 是电荷量， r 电荷间的距离。

2.11.3 电场的叠加原理

在空间中某一点的电场强度是由该点所有电荷所产生的电场的矢量和。代码中通过遍历所有电荷，计算每个电荷对空间中某一点的电场分量，然后将这些分量相加得到该点的总电场强度。

1.12 多级 RC 耦合放大电路

1.12.1 放大电路基本原理

RC 耦合放大电路通过晶体管的放大特性和 RC 耦合网络实现信号放大。每一级电路由电阻、电容和晶体管组成，输入信号通过电容耦合到下一级，实现逐级放大。

1.12.2 RC 耦合

RC 耦合网络由电阻（R）和电容（C）组成，起到隔直通交的作用。电容器阻止直流信号的传递，避免级间直流电位的影响，但允许交流信号通过。电阻器用于稳定工作点和设定输入阻抗。

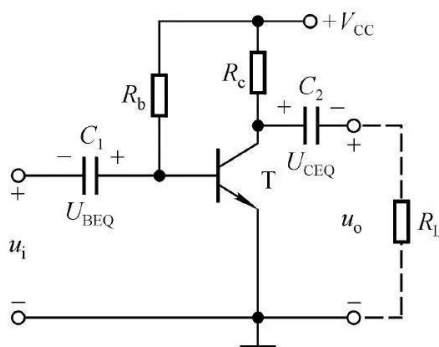


图 5 一级耦合放大电路示意图

1.12.3 多级放大

多级放大电路通过多个单级放大器串联实现更高的增益。每一级的输出作为下一级的输入，信号逐级放大。总增益是各级增益的乘积，总频率响应是各级频率响应的叠加。

1.12.4 频率响应

频率响应描述电路在不同频率下的增益特性，通常通过波特图（Bode Plot）表示，包括增益图和相位图。

1. 低频响应：由耦合电容和输入电阻决定，电容越大，低频响应越好。
2. 高频响应：由晶体管的特性和分布电容决定，频率越高，增益下降越明显。

1.12.5 增益与频率响应公式

1. 单级放大器增益：对于一个单级 RC 耦合放大器，增益 A_v 通常由下式表示：

$$A_v = \frac{-h_{fe}R_C}{R_B + \frac{1}{h_{fe}g_m} + Z_{in}} \quad (42)$$

其中， h_{fe} 是晶体管的电流增益， R_C 是集电极电阻， R_B 是基极电阻， g_m 是晶体管的跨导， Z_{in} 是输入阻抗。

频率响应：频率响应由低频截止频率 f_L 和高频截止频率 f_H 决定。低频截止频率由耦合电容 C 和电阻 R 决定：

$$f_L = \frac{1}{2\pi RC} \quad (43)$$

高频截止频率主要由晶体管的特性和分布电容决定。

1.12.6 多级放大电路的总增益和频率响应

多级放大电路的总增益 $A_{v_{total}}$ 是各级增益的乘积：

$$A_{v_{total}} = A_{v1} \times A_{v2} \times A_{v3} \quad (44)$$

总频率响应是各级频率响应的叠加，低频和低频截止频率分别由各级中的最低和最高截止频率决定。

二、仿真程序的流程图和涉及的实现技术

2.1 流程图

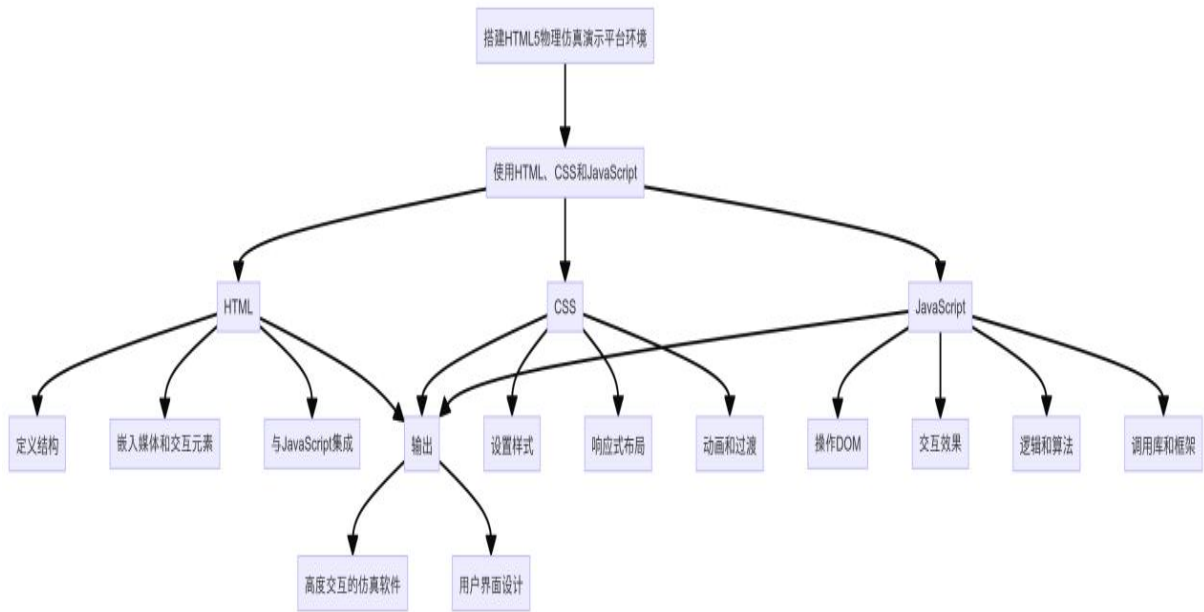


图 6 仿真程序的流程图

2.2 使用的工具

文献编写工具：Word、Latex 等；

代码编写工具：Visual Studio Code；

程序实现工具：Google Chrome、Edge 等浏览器；

2.3 涉及的实现技术

本项目通过搭建 HTML5 仿真软件环境，利用 HTML、CSS 和 JavaScript 进行开发，并结合前端框架（如 Bootstrap.js）和辅助库，输出高度交互的仿真软件 and 用户界面设计，同时使用 JavaScript 库（如 eCharts.js、Chart.js 和 Plotly.js）实现图表和数据的可视化，从而创建一个功能强大且用户友好的软件应用。

以麦克斯韦-玻尔兹曼分布为例进行涉及的实现技术展示：

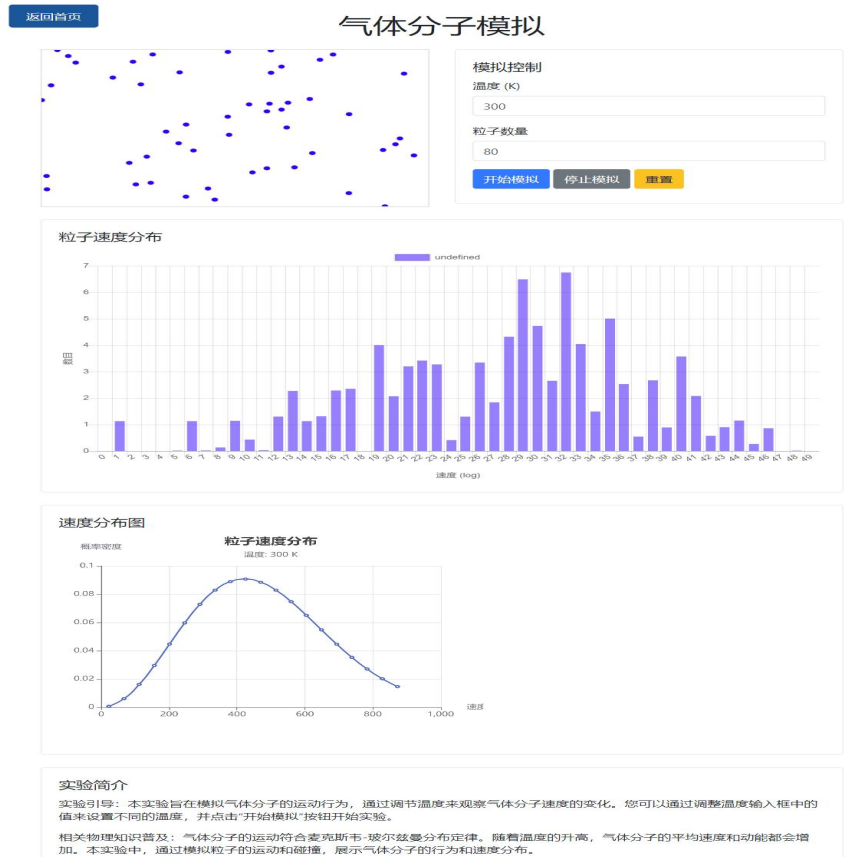


图 7 仿真程序显示界面

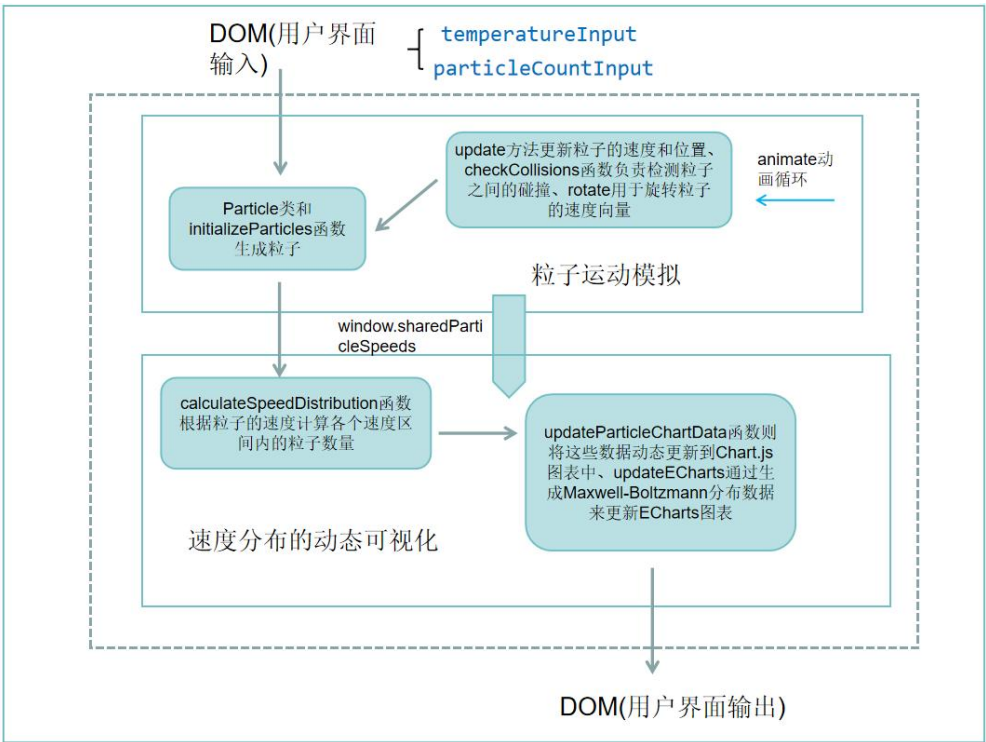


图 8 模拟程序的流程图

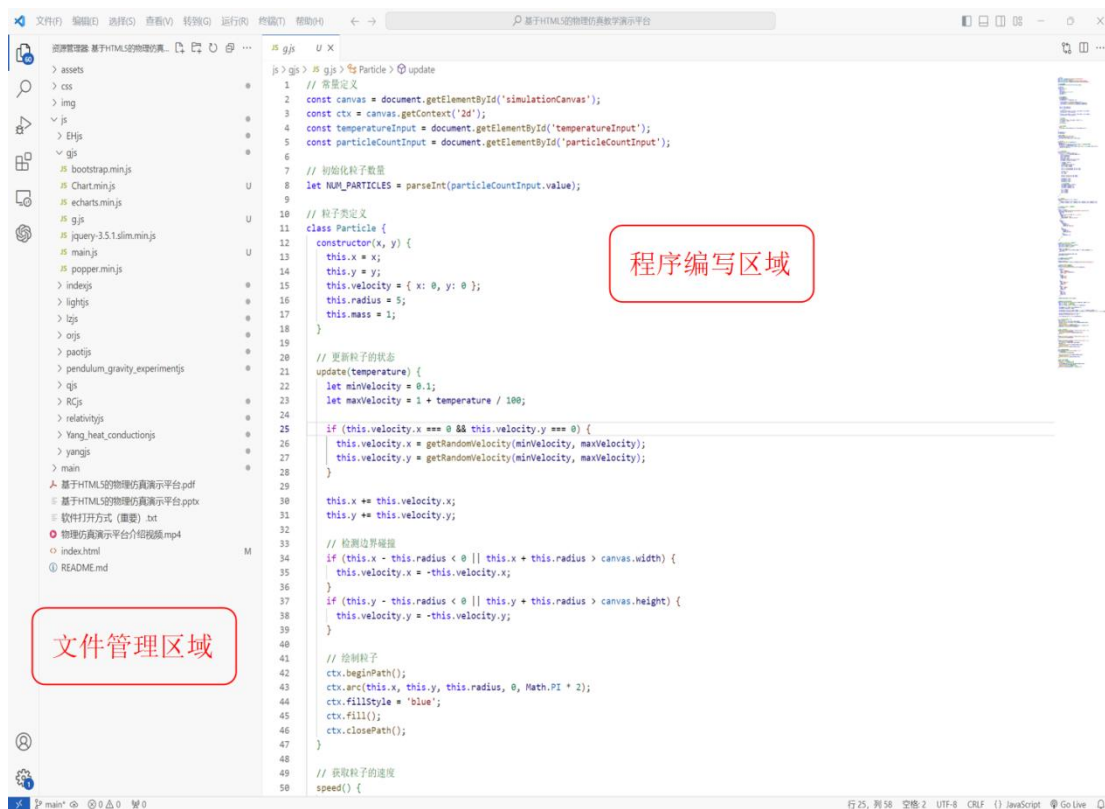


图9 仿真程序设计界面以及源码

三、仿真程序的使用方法（实验操作及参数说明）

界面概述：主界面分为顶部菜单栏、主要工作区。

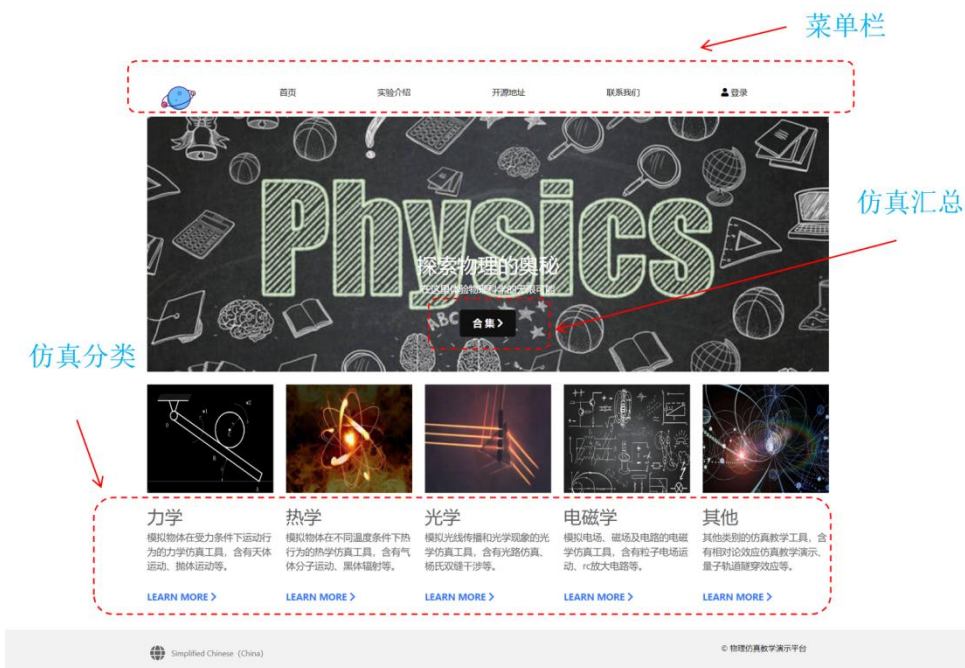


图9

图10 平台设计界面

进入仿真程序：点击“合集”或“LEARN MORE”进入相应的仿真界面。

3.1 狭义相对论仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面的主要结构包含三个模块：实验引导、参数调整 and 结果展示。

2. 熟悉实验引导模块

在页面的顶部，有实验引导模块，该模块简要介绍了狭义相对论的基本原理以及本实验的目的。阅读该部分内容以了解基础知识。

3. 调整实验参数

在参数调整模块中，可以调整实验参数：

- **速度 (相对于光速的百分比)：**通过输入框设置速度值，数值范围：**0%到99%**。这个值表示物体相对于光速的速度百分比。
- **观察时间 (秒)：**通过输入框设置观察时间值，单位为秒。数值范围：**任意正数**。

参数设置完成后，点击“开始实验”按钮以运行实验。



图 11 狭义相对论仿真参数设置模块示意图

4. 运行实验并查看结果

点击“开始实验”按钮后，实验将基于输入的参数进行计算和动画展示。

- **时间延缓效应图表：**观察静止参考系和移动参考系中的时间延缓效应。
- **飞船动画：**观察运动中物体的长度收缩效应。

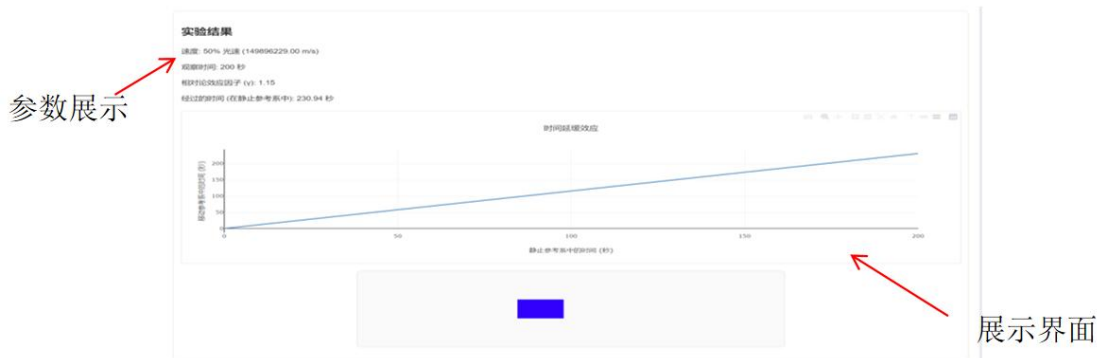


图 12 狭义相对论仿真结果模块示意图

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3.2 量子隧穿效应仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面主要结构包含三个部分：控制面板、模拟区域和图表展示。

2. 熟悉实验引导模块

在页面顶部包含实验简介模块，该模块简要介绍了量子隧穿的基本原理以及本实验的目的。阅读该部分内容以了解基础知识。



图 13 量子隧穿效应仿真界面示意图

3. 调整实验参数

实验参数	势垒高度 (eV)	势垒宽度 (nm)	波包位置 (nm)	波包宽度(nm)	波包能量 (eV)
范围	任意正值， 但应与物理 意义相关	任意正值， 但应与物理 意义相关	任意值，取 决于波包初 始位置。	任意正值，但 应与波包的物 理特性相关。	任意正值，但 应低于势垒高 度以观察隧穿 现象。
默认值	5 eV	2 nm	-5 nm	1 nm	4.98 eV

图 14 量子隧穿仿真参数设置模块示意图

4. 运行实验并查看结果

点击“开始模拟”按钮后，实验将基于输入的参数进行计算，并通过动画展示量子隧穿现象。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3.3 天体运动仿真仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面主要由控制面板、模拟区域和信息展示区域组成。

2. 熟悉实验简介与操作指南

在控制面板右侧，会有一些关于实验的基础介绍和操作指南。阅读该部分内容以了解基础知识和操作步骤。

3. 调整实验参数



图 15 天体运动仿真仿真示意图

在控制面板部分，可以调整实验参数：

实验参数	中心天体质量	计算时长同步	卫星质量	初始x轴速度	初始y轴速度
范围	$1 \times 10^{11} - 100 \times 10^{11}$	0.01 - 0.1	1 - 30	-3 - 3	-3 - 3
默认值	60×10^{11}	0.05	15	0	1.5

注：以上均为相对数值

图 16 天体运动仿真参数设置模块示意图

参数设置完成后，点击“执行”按钮以运行实验。

4. 运行实验并查看结果

点击“执行”按钮后，实验将基于输入的参数进行计算和模拟展示。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3.4 单摆实验仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面主要由实验介绍、控制面板、仿真画布和参数展示组成。

2. 熟悉实验介绍

在页面的顶部，会有一个关于单摆实验的基本介绍。阅读该部分内容以了解单摆的基本原理和实验目的。该介绍部分详细说明了单摆的周期公式以及相关的物理参数。

3. 调整实验参数

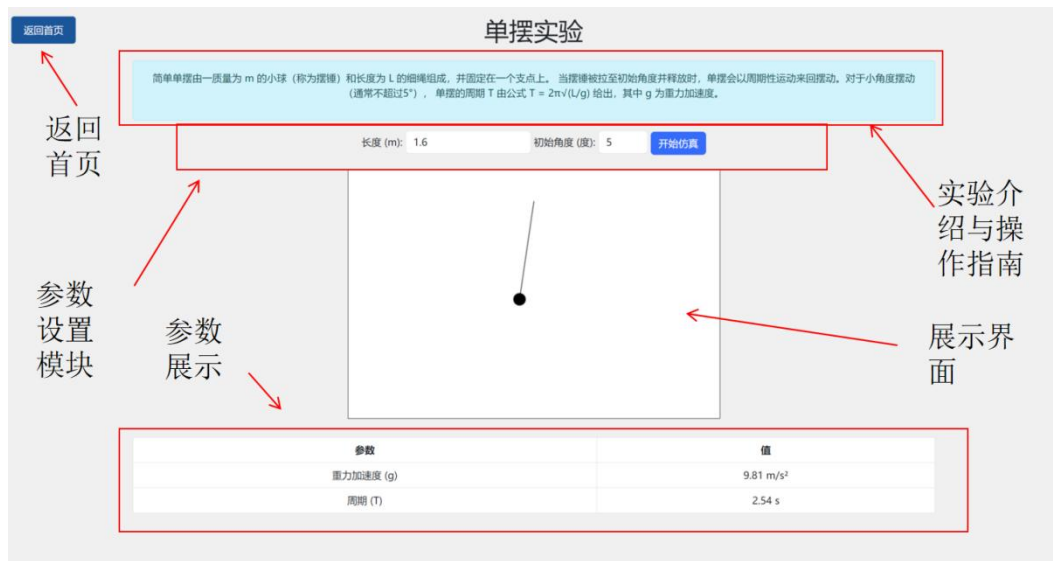


图 17 单摆实验仿真示意图

在控制面板中，可以调整实验参数：

- 长度(m)：通过输入框设置摆长，单位为米。参数范围：任何正值（显示效果建议小于 3.4m）
- 初始角度 (度)：通过输入框设置摆锤的初始角度，单位为度，参数范围：0 到 5 度。

设置好参数后，点击“开始仿真”按钮以运行实验。

4. 运行实验并查看结果

点击“开始仿真”按钮后，实验将基于输入的参数进行计算和动画展示。

- 仿真画布：观察不同参数下单摆的摆动情况。
- 参数展示表：查看单摆的重力加速度和周期值。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3.5 抛体运动仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面主要由实验简介、参数控制、仿真画布和结果展示组成。

2. 熟悉实验简介与操作指南

在页面左侧的实验简介部分，会看到关于抛体运动的基本信息和操作步骤。阅读该部分内容以了解抛体运动的基本原理和实验目的。

3. 调整实验参数

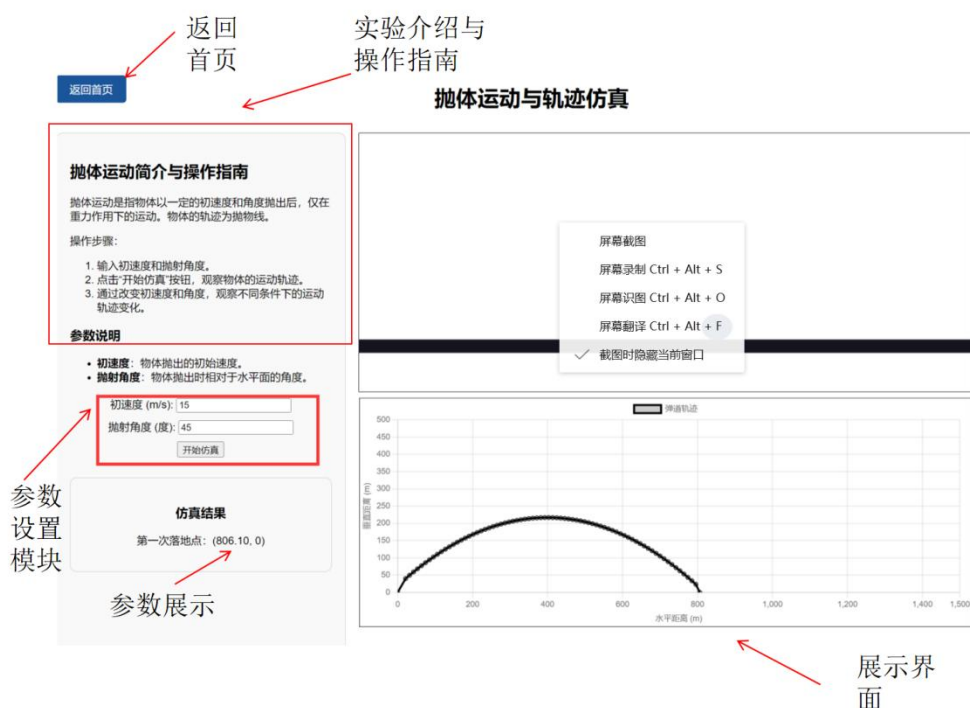


图 18 抛体运动仿真示意图

在控制面板中，可以调整实验参数：

- 初速度 (m/s): 通过输入框设置物体的初始速度，单位为米每秒。参数范围： $\geq 0\text{m/s}$ 。
- 抛射角度 (度): 通过输入框设置物体抛出时相对于水平面的角度，单位为度。参数范围： $0^\circ - 90^\circ$ 。

设置好参数后，点击“开始仿真”按钮以运行实验。

4. 运行实验并查看结果

点击“开始仿真”按钮后，实验将基于输入的参数进行计算和动画展示。

- 仿真画布：观察不同参数下抛体的运动情况。
- 轨迹图表：查看不同参数下抛体的运动轨迹变化。
- 仿真结果：查看物体第一次落地点的坐标。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3.6 气体分子运动仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面主要结构包含三个部分：控制面板、模拟区域和图表展示。

2. 熟悉实验引导模块

在页面的底部，有实验引导模块，该模块简要介绍了气体分子运动的基本原理以及本实验的目的。阅读该部分内容以了解基础知识。

3. 调整实验参数

- 调温度 (K)：通过输入框设置温度值。参数范围：任何正值。
- 调节粒子数目 (个)：通过输入框设置粒子数目。参数范围：任何正值。
- 设置好温度参数和粒子数目后，可以点击“开始模拟”按钮以运行实验。

4. 运行实验并查看结果



图 19 气体分子运动仿真参数设置模块及粒子速度分布示意图

点击“开始模拟”按钮后，实验将基于输入的温度参数和粒子数目进行模拟和图表展示。

- 粒子速率分布图：柱状图展示每个粒子的实时速度。
- 速度分布图表：展示气体分子在当前温度下的速度分布情况，符合麦克斯韦-玻尔兹曼分布定律。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3. 7 体辐射仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面由控制面板、图表展示区域、实验简介和返回按钮组成。

2. 熟悉实验简介

在页面下方的实验简介部分，会看到关于黑体辐射的基本信息和操作指南。阅读该部分内容以了解黑体辐射的基本原理和实验目的。

3. 调整实验参数

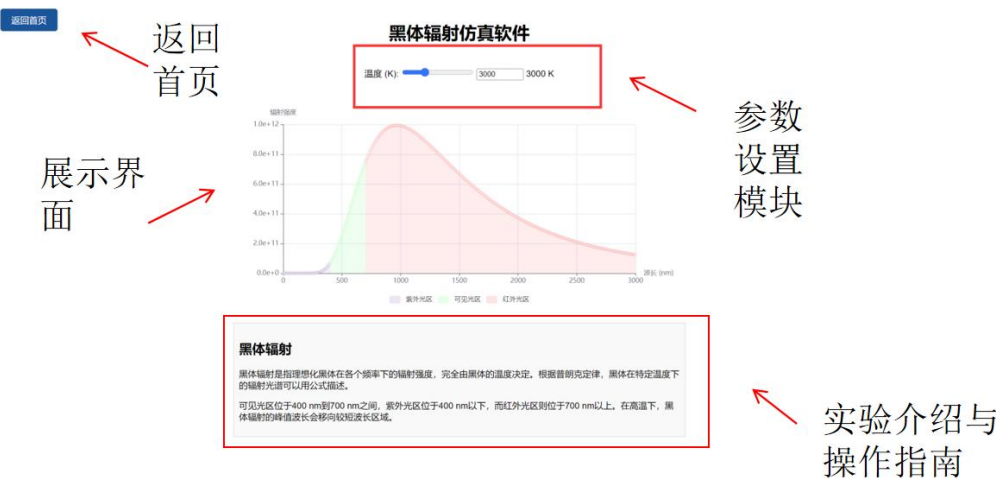


图 20 黑体辐射仿真示意图

在控制面板中，可以调整实验参数：

- **温度 (K):** 通过滑动条或输入框设置黑体的温度，单位为开尔文。温度范围为 100K 到 10000K，步进值为 100K。

设置好参数后，页面会自动更新图表以反映新的温度设置。

4. 运行实验并查看结果

调整温度参数后，实验将基于输入的温度进行计算和图表展示。

辐射强度图表: 观察不同温度下黑体辐射的强度分布曲线。注意温度升高时，辐射强度峰值会向短波长移动。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3.8 杨氏双缝干涉实验仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面主要由三个部分组成：控制面板、模拟区域和实验简介。

2. 熟悉实验简介与操作指南

在页面的右侧，有实验简介与操作指南模块，该模块简要介绍了杨氏双缝干涉实验的基本原理以及本实验的目的。阅读该部分内容以了解基础知识。

3. 调整实验参数

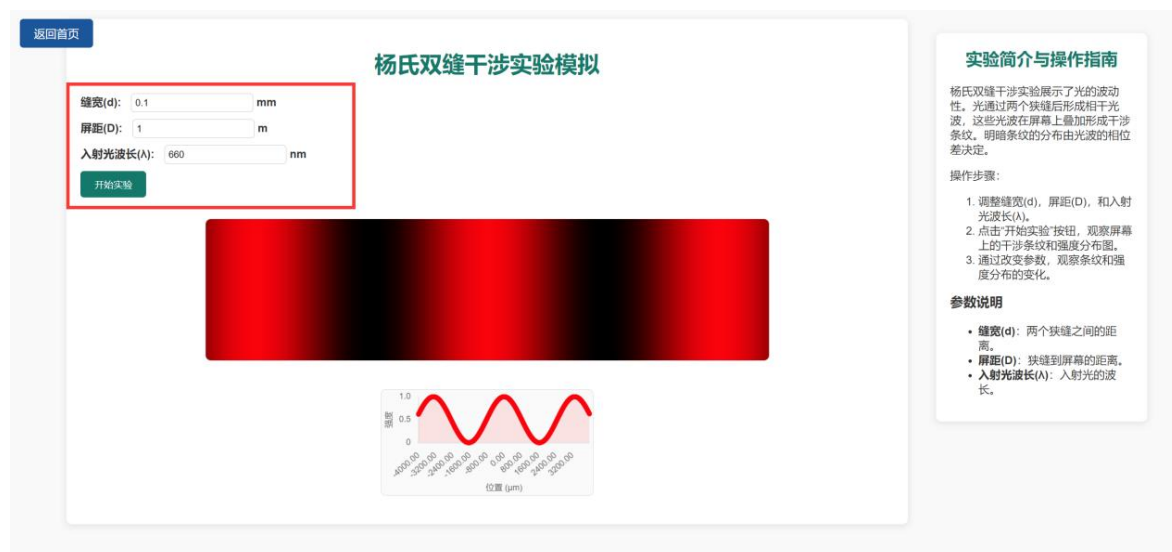


图 21 杨氏双缝干涉实验仿真示意图

在控制面板部分，可以调整实验参数：

- 缝宽 (d): 通过输入框设置两个狭缝之间的距离，单位为毫米。参数范围：任意正数。
- 屏距 (D): 通过输入框设置狭缝到屏幕的距离，单位为米。参数范围：任意正数。
- 入射光波长 (λ): 通过输入框设置入射光的波长，单位为纳米。参数范围：任意正数。

参数设置完成后，点击“开始实验”按钮以运行实验。

4. 运行实验并查看结果

点击“开始实验”按钮后，实验将基于输入的参数进行计算和展示。

- 干涉条纹图：观察不同参数下干涉条纹的分布变化。
- 强度分布图：查看不同参数下干涉条纹的强度分布变化。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3.9 光路设计仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面主要由两个部分组成：控制面板、模拟区域。

2. 调整实验参数

页面中的参数调整模块允许你设置实验的关键参数。例如，你可以选择实验中光源的类型、调整光的颜色、缩放比例等。在这个模块中，参数调整的控件包括下拉菜单（光源、薄物体）、颜色选择器和范围输入框等。

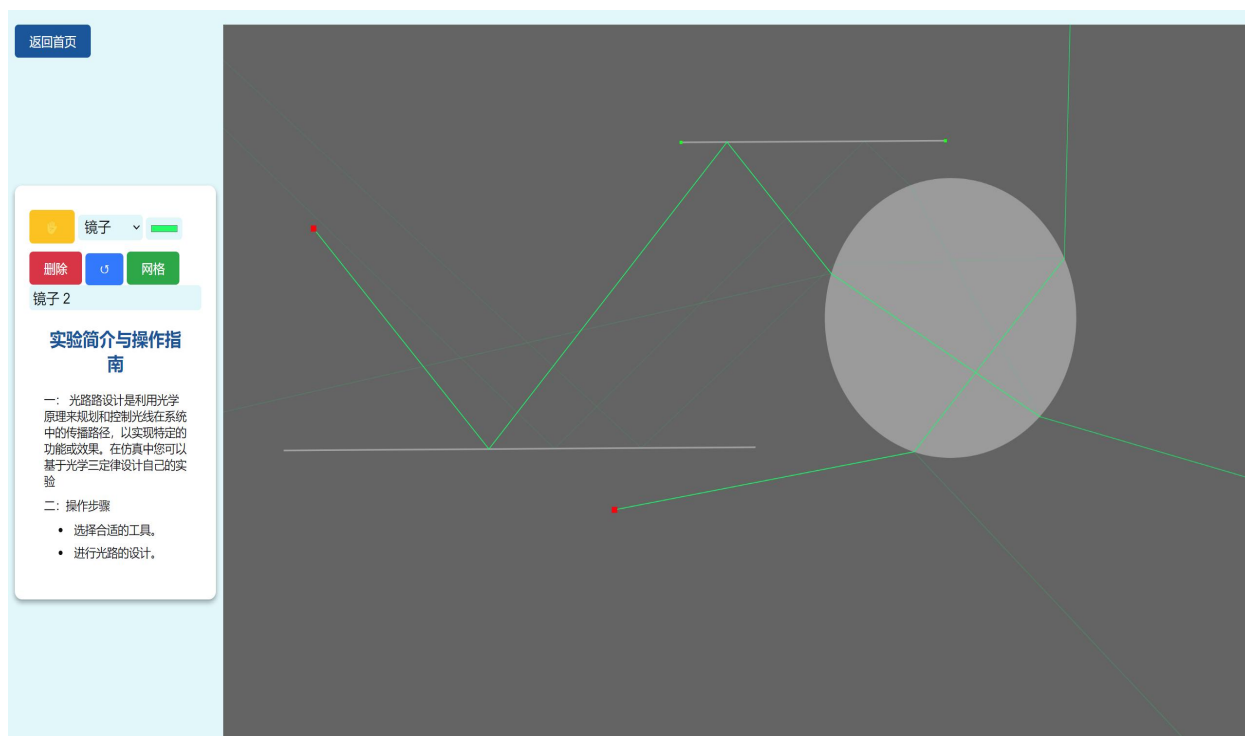


图 22 光路设计实验仿真示意图



图 23 参数设置示意图

3. 进行光路的设计

根据已有的知识结合提供的光源、器材进行光路的设计和模拟。

4. 运行实验并查看结果

画布将展示你所设计的光路，你可以用来进行教学或自我学习。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3. 10 粒子在电场中的运动仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面主要由实验设置、实验简介、仿真画布和返回按钮组成。

2. 熟悉实验简介与操作指南

在页面左侧的实验简介部分，会有关于粒子电场实验的基本信息和操作步骤。阅读该部分内容以了解带电粒子在电场中的运动原理和实验目的。

3. 调整实验参数

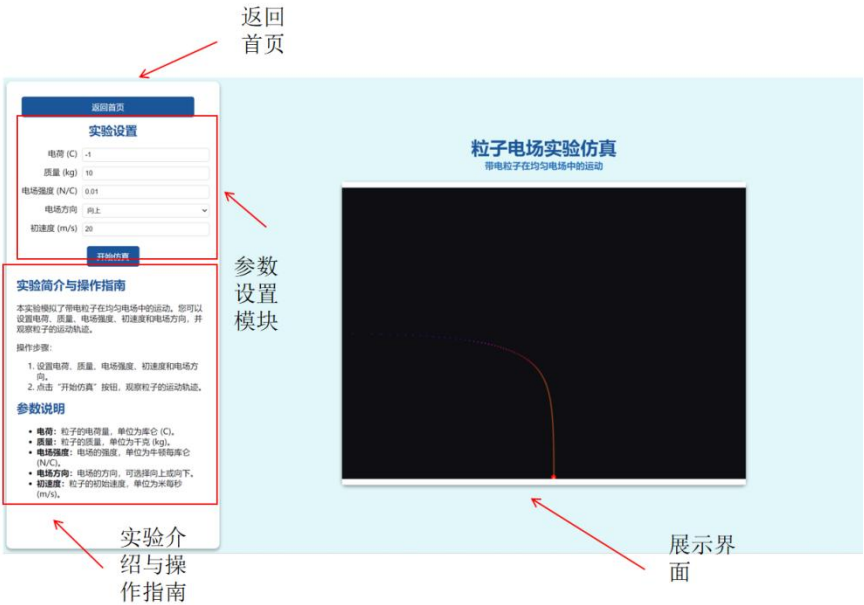


图 24 粒子在电场中的运动仿真示意图

在实验设置面板中，可以调整实验参数：

- **电荷 (C):** 通过输入框设置粒子的电荷量，单位为库仑。数值范围：任意数。
- **质量 (kg):** 通过输入框设置粒子的质量，单位为千克。数值范围：任意正数。
- **电场强度 (N/C):** 通过输入框设置电场的强度，单位为牛顿每库仑。数值范围：任意数。
- **电场方向:** 通过下拉菜单选择电场方向（向上或向下）。
- **初速度 (m/s):** 通过输入框设置粒子的初速度，单位为米每秒。数值范围：任意正数。

设置好参数后，点击“开始仿真”按钮以运行实验。

4. 运行实验并查看结果

点击“开始仿真”按钮后，实验将基于输入的参数进行计算和动画展示。

- 仿真画布：观察不同参数下粒子的运动情况。
- 轨迹图表：查看粒子的运动轨迹变化。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3.11 电场线的仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面主要由实验设置、实验简介、仿真画布和返回按钮组成。

2. 熟悉实验简介与操作指南

在页面底部的实验简介部分，会有关于电场线演示仿真的基本信息和操作步骤。阅读该部分内容以了解电场线演示仿真的原理和实验目的。

3. 调整实验参数

使用控制面板设置电荷的类型、位置和强度：

- 在“X 位置”输入框中输入电荷的 X 坐标位置。参数范围：（-380—380）
- 在“Y 位置”输入框中输入电荷的 Y 坐标位置。参数范围：（-300—300）
- 在“强度”输入框中输入电荷的强度。参数范围：任意数
- 选择“正电荷”或“负电荷”作为电荷类型。

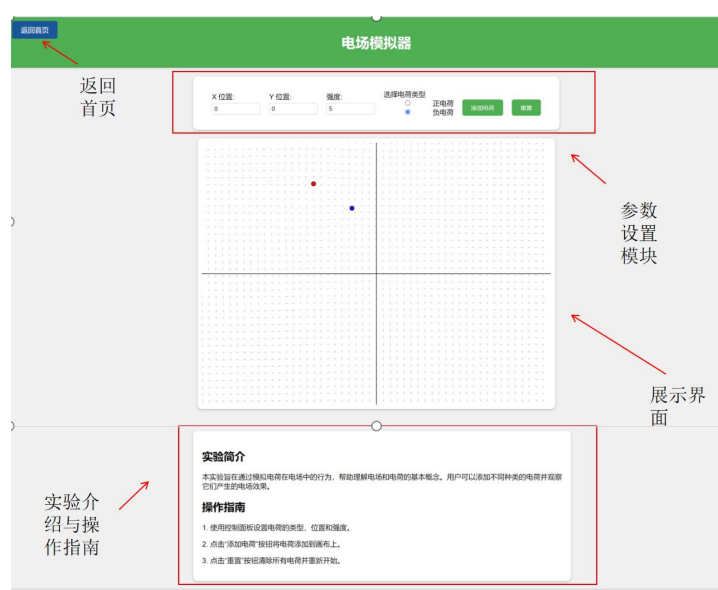


图 25 电场线演示仿真示意图

4. 运行实验并查看结果

点击“开始仿真”按钮后，实验将基于输入的参数进行计算和动画展示。

仿真画布：观察不同参数下电场线的形成情况。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

3.12 多级 RC 耦合放大电路仿真演示

1. 打开实验页面

确保浏览器能够正常加载实验页面。实验页面的主要结构包含实验介绍、设置控制面板、电路图和波特图展示。

2. 熟悉实验介绍

在页面左侧的实验介绍部分，有关于多级 RC 耦合放大电路的基本信息。阅读该部分内容以了解基础知识，包括第一级、第二级和第三级的详细介绍。

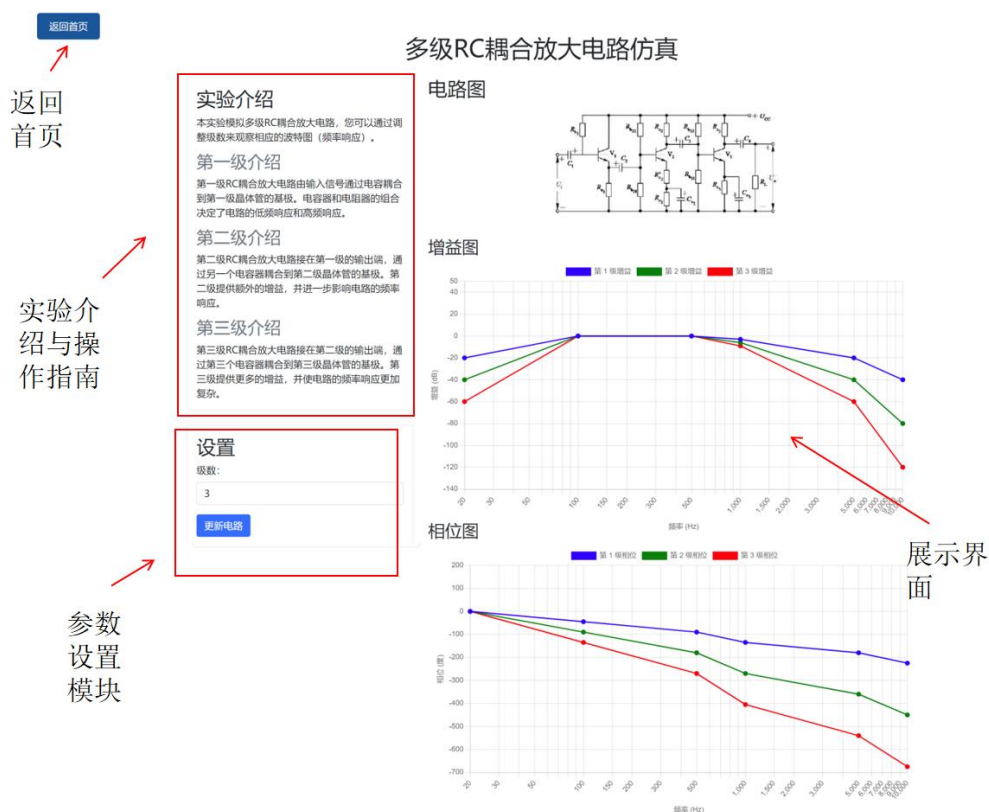


图 26 多级 RC 耦合放大电路仿真示意图

3. 调整实验参数

在设置控制面板中，可以调整实验参数：

- 级数：通过输入框设置 RC 耦合放大电路的级数，参数范围：1 到 3。
- 设置好参数后，点击“更新电路”按钮以运行实验。

4. 运行实验并查看结果

点击“更新电路”按钮后，实验将基于输入的级数参数进行计算和展示。

- 电路图：观察不同级数下 RC 耦合放大电路的电路图变化。
- 增益图：查看不同级数下电路的增益随频率的变化情况。
- 相位图：查看不同级数下电路的相位随频率的变化情况。
- 抛体运动仿真结果演示了物体的抛物线运动，并给出了不同抛射角度和速度的运动轨迹及落地点位置。

5. 返回首页

点击页面左上角的“返回首页”按钮可返回主页面。

四、结果的物理含义及合理性、有效性、可拓展性

1. 物理含义

这些实验涵盖了物理学的多个领域，展示了从相对论到经典力学、从电磁学到热力学的各种现象。例如，

- 相对论动态仿真实验展示在高速运动下，时间会变慢，长度会缩短，这些效应称为时间延缓和长度收缩。
- 量子隧穿效应仿真结果描述了粒子通过能量障碍的过程，即使其能量低于障碍的高度。
- 天体仿真模拟结果展示了卫星环绕中心天体的运动轨迹。
- 单摆仿真模拟结果描述了在一定重力加速度下单摆的周期公式。
- 抛体运动仿真结果演示了物体的抛物线运动，并给出了不同抛射角度和速度的运动轨迹及落地点位置。
- 麦克斯韦-玻尔兹曼分布模拟仿真结果演示了不同温度下粒子的运动和碰撞，展示气体分子的行为和速度分布。
- 黑体辐射仿真结果展示了黑体辐射的强度分布。
- 杨氏双缝干涉仿真结果展示了缝宽、屏距、入射波波长下干涉图样以及强度分布图。

- 光路设计仿真结果展示了用户加入不同的物理元素（如透镜）下光路的变化。
- 粒子电场实验仿真结果展示了带电粒子在电场中的运动。
- 多级 RC 耦合放大电路仿真展示了电路的频率响应。
- 电场线演示仿真结果展示了不同种类的电荷以及它们产生的电场效果

2.合理性及有效性

这些实验模型基于已验证的物理定律和理论，结果合理且具有科学依据。通过这些实验，用户可以验证相关理论，应用于教学和研究，有效帮助理解相关物理概念。

3.可拓展性

这些实验具有较大的可拓展性。可以通过增加更多可调参数、改进可视化效果和增加多维数据分析功能来提升实验的丰富性和用户体验。此外，还可以扩展实验范围，涵盖更多物理领域，提供更全面的实验仿真平台。