附件2：

第二届“卓越杯”

大学生物理实验竞赛

项目说明书

**参赛题目 ：（请画√选择）**

** 题目一：**

** 题目二：**

** 题目三：**

**参赛学校**

**指导教师**

**组队成员**

“卓越杯” 大学生物理实验竞赛组委会制

2018年7月

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参赛题目 | | 声场的调控(自主设计实验) | | | |
| 队长姓名 | | 性别 | 出生年月 | 专业 | 年级 |
| 张渝宁 | | 男 | 1998.10.15 | 物理学 | 2016 |
| 手机，Email | | 13618311520， neuromancer43@gmail.com | | | |
| 队员姓名 | | 性别 | 出生年月 | 专业 | 年级 |
| 张学祥 | | 男 | 1998.05.17 | 电子信息科学 | 2016 |
| 柴轶晟 | | 男 | 1999.04.07 | 电气工程 | 2017 |
| 题目内容  简介 | | 构建一声场调控平台，利用多声场的干涉效果实现微粒的操控或者特殊声场（如涡旋声场等）。（注：不限于驻波） | | | |
| （以下内容可加页，控制在3-5页）  **设计原理与方法：**  小组通过对特定几何形状的空间超声阵列进行相位调制来实现各类声场（汇聚，双子，涡旋）。  A．物理   1. 基本原理   空间中的声场为各场源（超声振子）产生的声场的干涉叠加。  其中，为场源产生的声强场，装置中使用的超声振子内部结构为压电晶体配振动膜，其发射场可用活塞模型描述如下。  其中为场点位矢，包含源点场点距离d和极角，为一阶贝塞尔函数，A为振幅，k为波矢（表征频率），为振子相位延迟，为特征常数。  通过对阵列中每个振子的相位进行分别调控，可以产生各种声场分布。   1. 粒子的声压梯度力   空气中线度小于半波长的粒子受到声压辐射力由Gorkov势描述  𝑭: 声压辐射力 𝑈: 辐射力势场 𝑟: 粒子半径 𝑝: 粒子所在处压强 𝒗: 粒子速度 𝜌: 介质密度   1. 不同声场的实现   对于聚焦于空间特定处的某一类型声场，其振幅调制由两部分组成。  第一部分是该类型声场的全息相位调制特征，另一部分是聚焦位置的相位调制特征。最终对于阵列的相位调制由两部分叠产生。  类比全息光镊，不同类型声场的全息相位特征可由文献得到。汇聚声场，双子声场，涡旋声场的全息相位特征如图。    聚焦等效于使聚焦位置声强最大，且粒子梯度力最强，聚焦位置对应相位特征可由对以下目标函数的优化得到。  其中，w为权重因子，取值为1-1000，U为Gorkov势， 为第j个振子的激发声场。  B. 软件和硬件  信号产生：  Arduino MEGA有64个数字输出端口，通过高低电平交替产生方波信号作为驱动信号。其振幅和相位通过PWM技术控制。各信道信号延迟通过系统核心时钟进行同步，以控制其相位差异，如图所示。    软硬件通讯:  软件和单片机间通过串口进行指令和数据传输，使用UART协议。通讯速率（等效波特率）约为250KB/s。软件控制相位变化，并发送各振子相位数据信息到Mega芯片进行即时更新，其最小分辨率为pi/5。  **实验仪器与装置:**  实验仪器结构如图    Arduino MEGA：提供64个独立通道，通过调整Arduino MEGA的输出相位来调整超声振子的相位，在本实验装置中实际使用了45个独立通道。  驱动板：功率放大电路。Arduino MEGA的输出电压较小，直接驱动超声振子的效果不佳，因此将Arduino MEGA每个独立通道的输出电压输入到驱动板上的一个对应驱动电路。利用驱动板驱动超声振子。驱动板是自主印刷的PCB电路板，其上共焊有32个并联的驱动电路，每个驱动电路有2路输入、2路输出，每个输入与Arduino MEGA上的64个独立通道一一相连，每个输出与超声振子一一相连，共可驱动64个超声振子，在本实验装置中实际驱动45个超声振子。每个驱动电路如下图所示。    直流稳压电源：给驱动板供电，提供运放Vcc，使驱动板能够正常工作。  几何支架：支撑超声振子，并设定声场几何边界条件。  超声阵列：产生超声波，并利用其多声场的干涉效果实现微粒的操控或者特殊声场。  **数据测量与分析:**  我们使用接收振子测量了示波器测量了阵列标准输入下每个振子在同步信号下的误差。数据见附表，结果如下。   1. 由于压电晶体具有各向异性，接受振子不同角度下测量的振幅并不相同，我们分四次测量，每次旋转90度，取其平均值作为最终结果。 2. 振子相位延迟使用双路示波器进行测量和计算，由于其结果稳定不变，因此仅取单次测量。       由于超声振子做工不够精密，其压电晶体常常具有各向异性，且响应曲线有差异。这是系统主要误差来源。  **结论：**  可以同时实现对粒子的操纵和各种声场的形成。  **制作成本（明细）：**  名称-价格-数量-淘宝链接   1. Arduino Mega开发板 55￥\*1   <https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.39.5dc84925PqK6Hl&id=528415877771&ns=1&abbucket=2#detail>   1. 10mm 40kHz 超声发射头 2.6￥\*45   <https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.245.61e63140RMYfND&id=14354301222&ns=1&abbucket=2#detail>   1. 印制PCB电路板（五片起拍） 30￥\*1   <https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a230r.1.14.18.64ce4c39fjsxRj&id=520081484080&ns=1&abbucket=2>   1. TC4427A 芯片 1.5￥\*32   <https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a230r.1.14.23.79865d9cp0dYfy&id=43417565623&ns=1&abbucket=2>   1. 0.1uf 贴片电容（50装） 7.5￥\*1   <https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a230r.1.14.44.bccd34d12OKPpq&id=568072296847&ns=1&abbucket=2>   1. 4.7uf 贴片电容（50装）14.8￥\*1   <https://detail.tmall.com/item.htm?spm=a230r.1.14.23.510234d1dID9Pr&id=559057042508&ns=1&abbucket=2>   1. 3D打印球面支架<20￥ 2. 排线，排针，连接头若干 <15￥   总价格: ~300￥ | | | | | |
| 项目创新点与特色： | 1. 超声阵列对每个振子单独控制，自由度高，通过对其相位进行调制可以生成多种类型声场（双子，涡旋，汇聚）。 2. 粒子操控并非基于传统驻波声场，而是程序控制双子声场聚焦。粒子自由度高，可以实现平动和转动。 3. 基于单片机和廉价电子元件，但可以实现复杂功能，整体装置具有高性价比。 | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | V1 | V2 | V3 | V4 | V-bar | STD-DEV | RATIO | CH1-CH2 | PHASE |
| 1 | 2.6 | 3.18 | 2.8 | 2.82 | 2.85 | 0.241384893 | 8.47% | 0.00 | 0 |
| 2 | 3.3 | 3.26 | 3.16 | 3.48 | 3.3 | 0.133666251 | 4.05% | 4.60 | 0.368 |
| 3 | 3.94 | 4.02 | 4.08 | 3.86 | 3.975 | 0.095742711 | 2.41% | 1.40 | 0.112 |
| 4 | 2.8 | 2.92 | 2.68 | 3.06 | 2.865 | 0.162788206 | 5.68% | 1.40 | 0.112 |
| 5 | 4.38 | 4.04 | 4.06 | 4.06 | 4.135 | 0.163605216 | 3.96% | 3.40 | 0.272 |
| 6 | 3.02 | 3.12 | 3.2 | 3.26 | 3.15 | 0.103923048 | 3.30% | 3.80 | 0.304 |
| 7 | 4.12 | 3.32 | 3.44 | 3.8 | 3.67 | 0.362767143 | 9.88% | 3.40 | 0.272 |
| 8 | 4.16 | 4.3 | 4.32 | 4.16 | 4.235 | 0.086986589 | 2.05% | 3.00 | 0.24 |
| 9 | 3.96 | 4.08 | 4.46 | 4.3 | 4.2 | 0.223308456 | 5.32% | 0.00 | 0 |
| 10 | 4.62 | 4.64 | 4.48 | 4.46 | 4.55 | 0.093094934 | 2.05% | 2.60 | 0.208 |
| 11 | 3.72 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.705 | 0.01 | 0.27% | 1.40 | 0.112 |
| 12 | 3.72 | 3.86 | 3.82 | 3.94 | 3.835 | 0.091469485 | 2.39% | 2.40 | 0.192 |
| 13 | 3.42 | 3.76 | 3.66 | 3.74 | 3.645 | 0.15609826 | 4.28% | 1.40 | 0.112 |
| 14 | 3.62 | 3.6 | 3.66 | 3.42 | 3.575 | 0.106301458 | 2.97% | 0.40 | 0.032 |
| 15 | 3.88 | 3.9 | 3.84 | 4 | 3.905 | 0.068068593 | 1.74% | 0.80 | 0.064 |
| 16 | 2.94 | 3.06 | 3.06 | 3.96 | 3.255 | 0.473392015 | 14.54% | 4.80 | 0.384 |
| 17 | 4.04 | 4.28 | 3.96 | 4.3 | 4.145 | 0.170782513 | 4.12% | 2.80 | 0.224 |
| 18 | 4.5 | 5 | 4.6 | 4.7 | 4.7 | 0.21602469 | 4.60% | 1.80 | 0.144 |
| 19 | 3.84 | 3.76 | 3.92 | 3.76 | 3.82 | 0.076594169 | 2.01% | 2.40 | 0.192 |
| 20 | 4.04 | 4.14 | 4.3 | 4.14 | 4.155 | 0.107548439 | 2.59% | 1.40 | 0.112 |
| 21 | 2.82 | 3.26 | 2.64 | 2.7 | 2.855 | 0.280178515 | 9.81% | 0.40 | 0.032 |
| 22 | 2.64 | 2.42 | 2.56 | 2.42 | 2.51 | 0.108934231 | 4.34% | 0.00 | 0 |
| 23 | 2.92 | 3.14 | 2.96 | 2.68 | 2.925 | 0.189296945 | 6.47% | -2.20 | -0.176 |
| 24 | 3.58 | 2.9 | 3.06 | 3.32 | 3.215 | 0.298607881 | 9.29% | 1.80 | 0.144 |
| 25 | 3.62 | 3.7 | 4.08 | 4.26 | 3.915 | 0.305232152 | 7.80% | 2.20 | 0.176 |
| 26 | 3.94 | 4.2 | 4.28 | 3.96 | 4.095 | 0.170782513 | 4.17% | 2.60 | 0.208 |
| 27 | 3.94 | 3.88 | 3.82 | 4.1 | 3.935 | 0.120415946 | 3.06% | 1.80 | 0.144 |
| 28 | 4.4 | 4.3 | 4.48 | 4.32 | 4.375 | 0.082259751 | 1.88% | 1.60 | 0.128 |
| 29 | 3.28 | 3.94 | 3.34 | 3.9 | 3.615 | 0.353411941 | 9.78% | 1.80 | 0.144 |
| 30 | 3.12 | 3.76 | 3.12 | 3.38 | 3.345 | 0.302599846 | 9.05% | 2.40 | 0.192 |
| 31 | 3.62 | 3.72 | 3.66 | 3.9 | 3.725 | 0.123693169 | 3.32% | 3.00 | 0.24 |
| 32 | 3.16 | 3.92 | 3.38 | 3.24 | 3.425 | 0.342296168 | 9.99% | 3.20 | 0.256 |
| 33 | 4.06 | 4.18 | 4.14 | 3.98 | 4.09 | 0.088694231 | 2.17% | 4.00 | 0.32 |
| 34 | 2.36 | 3.2 | 2.5 | 2.9 | 2.74 | 0.382622529 | 13.96% | 3.20 | 0.256 |
| 35 | 3.2 | 3.16 | 3.36 | 3.2 | 3.23 | 0.088694231 | 2.75% | 1.20 | 0.096 |
| 36 | 2.78 | 2.68 | 2.84 | 3.06 | 2.84 | 0.160831174 | 5.66% | 2.20 | 0.176 |
| 37 | 2.84 | 3.1 | 3.08 | 3.06 | 3.02 | 0.121106014 | 4.01% | 2.80 | 0.224 |
| 38 | 4.26 | 4.28 | 4.28 | 4.24 | 4.265 | 0.019148542 | 0.45% | 2.00 | 0.16 |
| 39 | 3.88 | 3.9 | 4.16 | 4.14 | 4.02 | 0.150554531 | 3.75% | 3.00 | 0.24 |
| 40 | 3.42 | 3.98 | 3.92 | 3.52 | 3.71 | 0.281187956 | 7.58% | 2.60 | 0.208 |
| 41 | 3.48 | 3.28 | 3.36 | 3.28 | 3.35 | 0.094516313 | 2.82% | 2.80 | 0.224 |
| 42 | 3.56 | 3.92 | 3.58 | 3.4 | 3.615 | 0.218708329 | 6.05% | 2.80 | 0.224 |
| 43 | 3.84 | 3.8 | 3.64 | 4.02 | 3.825 | 0.15609826 | 4.08% | 0.60 | 0.048 |
| 44 | 3.22 | 3.68 | 3.76 | 3.78 | 3.61 | 0.263565299 | 7.30% | 0.40 | 0.032 |
| 45 | 4.08 | 4.22 | 4.04 | 4.06 | 4.1 | 0.081649658 | 1.99% | 2.00 | 0.16 |