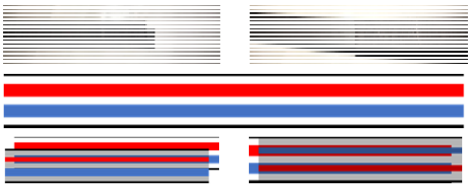

非对称中的对称美
——软胶磁铁磁场分布的简单探究
及 Halbach 阵列的模拟与分析
程玉锟
2019/7/5


目录
2019/7/5
软胶磁铁
• 研究背景
• 实验探究
• 实验结果
直线型阵列
• 算法优化
• 最优化算法
• 结果分析
环形阵列
• 构成
• 分类
• 结果
磁场之美
• 总结
• 彩蛋

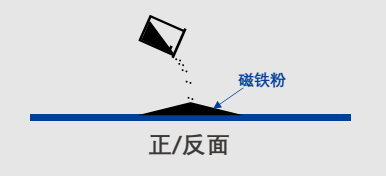
软胶磁铁•背景与实验

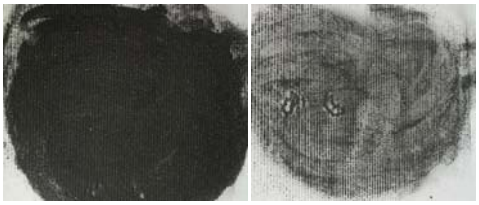
软胶磁铁(磁贴)具有”单向磁性”

磁极性质实验：取条状软胶磁铁



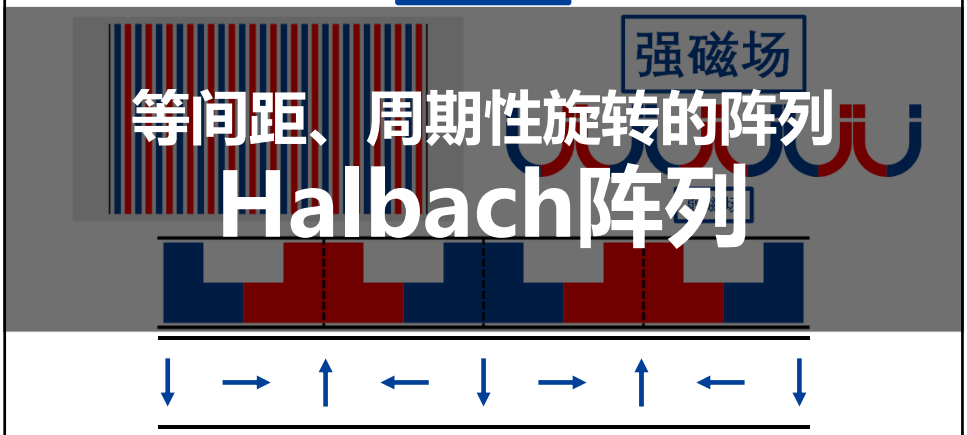
磁场分布实验：取片状软胶磁铁





软胶磁铁•实验结果

磁场分布

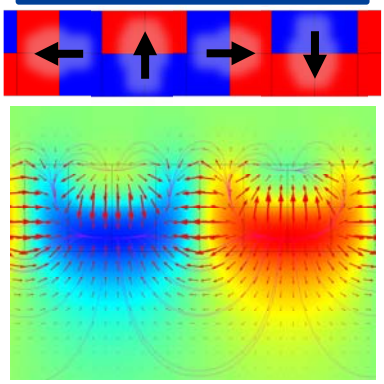


等间距、周期性旋转的阵列

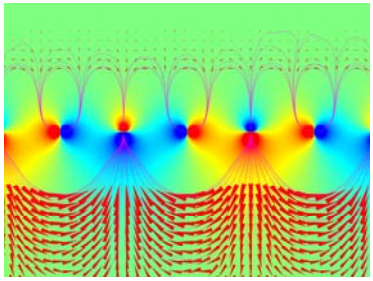
Halbach阵列

直线型阵列·算法优化

方形电荷电场模拟



电偶极子阵列模拟



区域过大
过于复杂
精细不足

直线型阵列·最优化算法

思路

无电流 → 磁荷法 → “磁场，无电流”接口

边界零势 → ½周期 → 对称性

细分网格，精确计算

7

直线型阵列·最优化算法

2019/7/5

参数

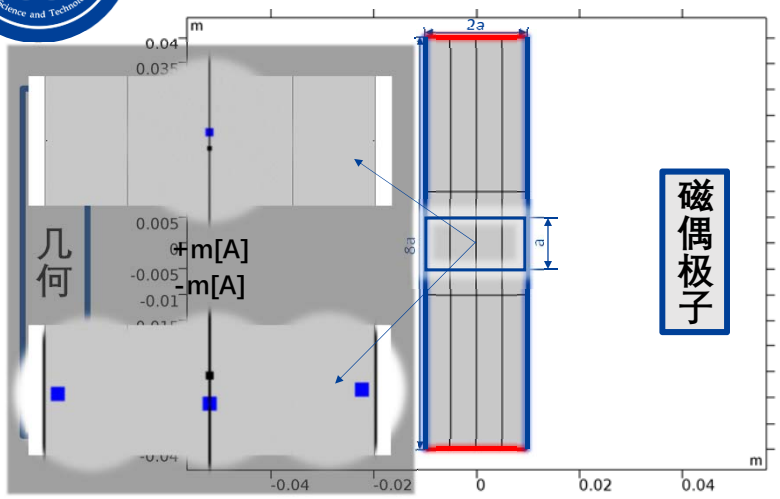
名称	表达式	值	描述
l	0.1[mm]	1E-4 m	磁偶极子两级距离的一半
a	1[cm]	0.01 m	两相邻磁偶极子中心点的距离
m	1e2	100	代表磁荷的圆环处磁标量势绝对值
n	2	2	结果绘图复制数目

软胶磁铁 ○ ○ ○ 直线阵列 ○ ● ○ 环形阵列 ○ ○ ○ 磁场之美 ○ ○

8

直线型阵列·最优化算法

2019/7/5

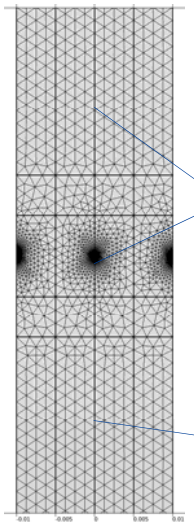


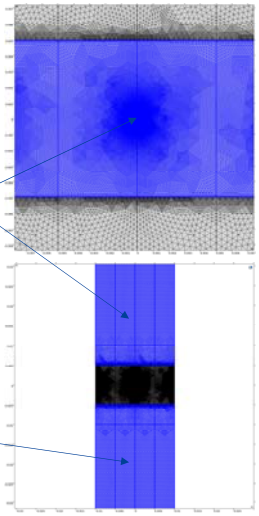
软胶磁铁 ○ ○ ○ 直线阵列 ○ ● ○ 环形阵列 ○ ○ ○ 磁场之美 ○ ○

9

直线型阵列·最优化算法

网格 → 超细化





3次细化

2次细化

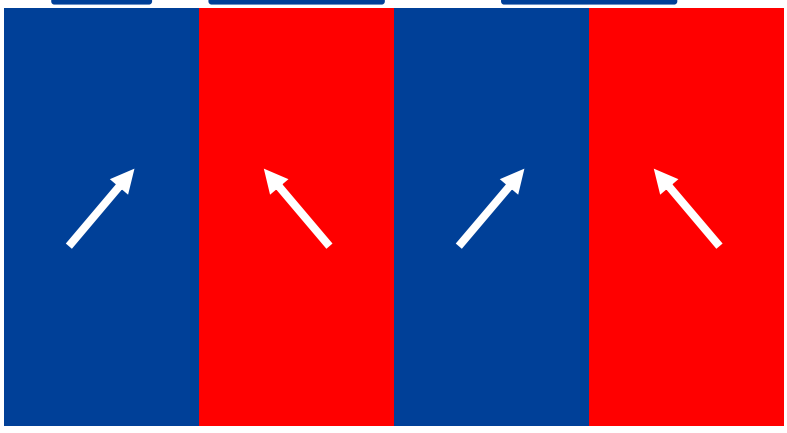
软胶磁铁 ○ ○ ○ | 直线阵列 ○ ● ○ | 环形阵列 ○ ○ ○ | 磁场之美 ○ ○

10

直线型阵列·最优化算法

结果 | 二维镜像 | 二维数组

数据集



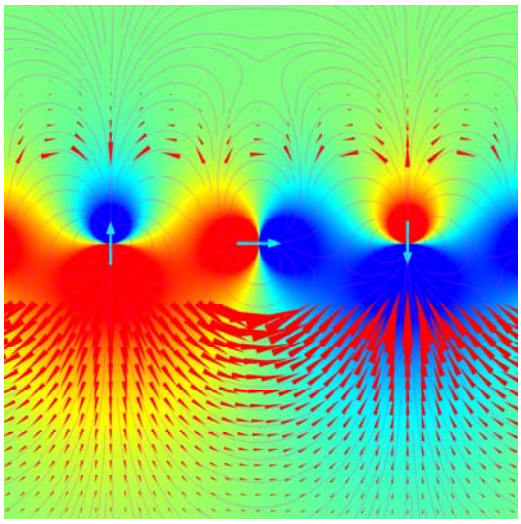
软胶磁铁 ○ ○ ○ | 直线阵列 ○ ● ○ | 环形阵列 ○ ○ ○ | 磁场之美 ○ ○

11

直线型阵列·结果分析

2019/7/5

结果·磁场磁标势分布



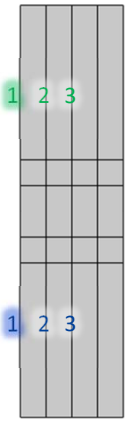
软胶磁铁 ○ ○ ○ 直线阵列 ○ ○ ● 环形阵列 ○ ○ ○ 磁场之美 ○ ○

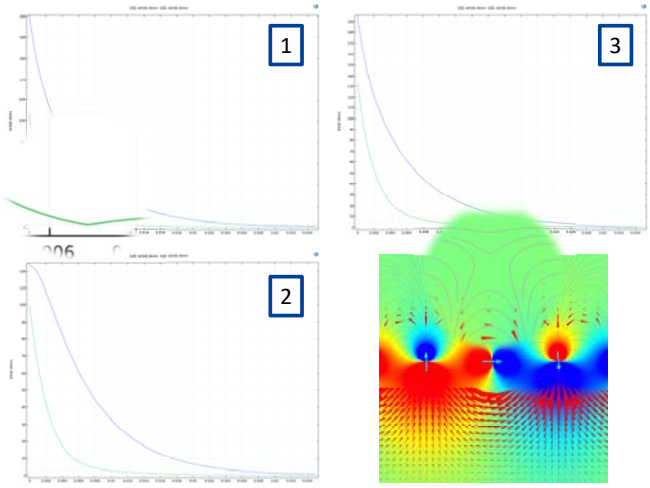
12

直线型阵列·结果分析

2019/7/5

结果·纵向分布





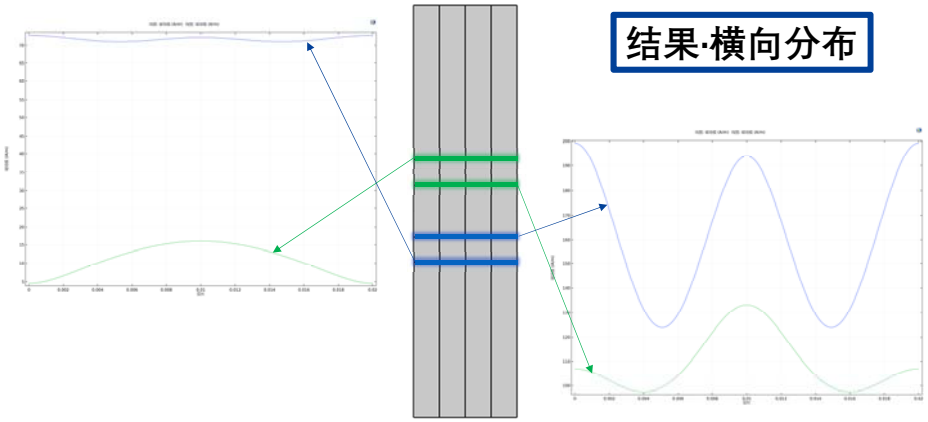
软胶磁铁 ○ ○ ○ 直线阵列 ○ ○ ● 环形阵列 ○ ○ ○ 磁场之美 ○ ○

13

直线型阵列·结果分析

2019/7/5

结果·横向分布



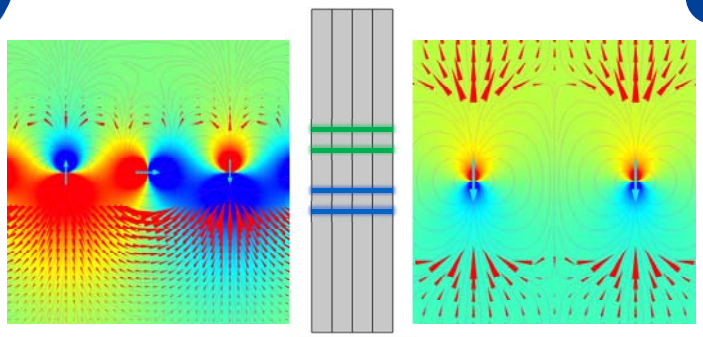
软胶磁铁 ○ ○ ○ 直线阵列 ○ ○ ● 环形阵列 ○ ○ ○ 磁场之美 ○ ○

14

直线型阵列·结果分析

2019/7/5

结果·对比·单向排列



排列方式	上方a/2处磁场模平均值(A/m)	下方a/2处磁场模平均值(A/m)	上方a处磁场模平均值(A/m)	下方a处磁场模平均值(A/m)	
Halbach阵列	109.170409	159.4332228	11.08296537	71.73385910	X6.5
单向排列	56.6530546	56.84450856	24.96134469	25.49610455	X2.8

软胶磁铁 ○ ○ ○ 直线阵列 ○ ○ ● 环形阵列 ○ ○ ○ 磁场之美 ○ ○

15

直线型阵列·结果分析

2019/7/5

结果·对比·方形模拟

软胶磁铁 ○ ○ ○ 直线阵列 ○ ○ ● 环形阵列 ○ ○ ○ 磁场之美 ○ ○

16

直线型阵列·结果分析

2019/7/5

结果·对比·方形模拟

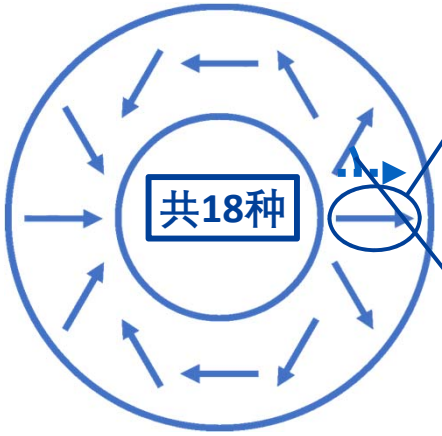
边长 (mm)	上方a/2处磁场模平均值 (A/m)	下方a/2处磁场模平均值 (A/m)	上方a处磁场模平均值 B_1(A/m)	下方a处磁场模平均值 B_2(A/m)	B_2/B_1
9	37389.24567	17514.73624	4638.800309	7704.406963	**1.66**
5	12589.59503	11280.83435	2241.521349	5009.985457	**2.23**
1	2104.169388	2671.486502	275.6567322	1198.859809	**4.34**
0	109.170409	159.4332228	11.08296537	71.73385910	**6.47**

软胶磁铁 ○ ○ ○ 直线阵列 ○ ○ ● 环形阵列 ○ ○ ○ 磁场之美 ○ ○

17

环形阵列·构成

2019/7/5



基础磁矩

方向θ=0°

方向θ=90°

旋转角：k*30°

保证旋转周期

k表示旋转周数

逆时针为正

软胶磁铁 ○○○ 直线阵列 ○○○ 环形阵列 ●○○ 磁场之美 ○○

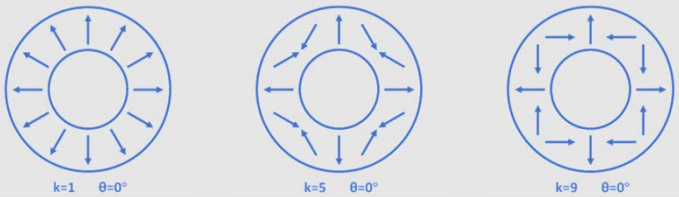
18

环形阵列·分类

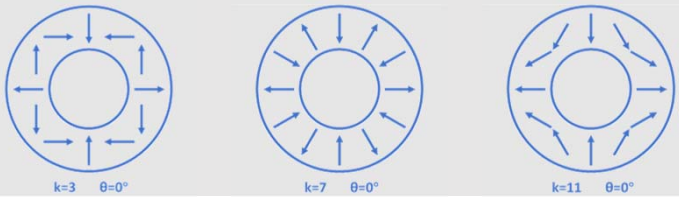
2019/7/5

类别一：上下正对称，左右正对称

45°正对称



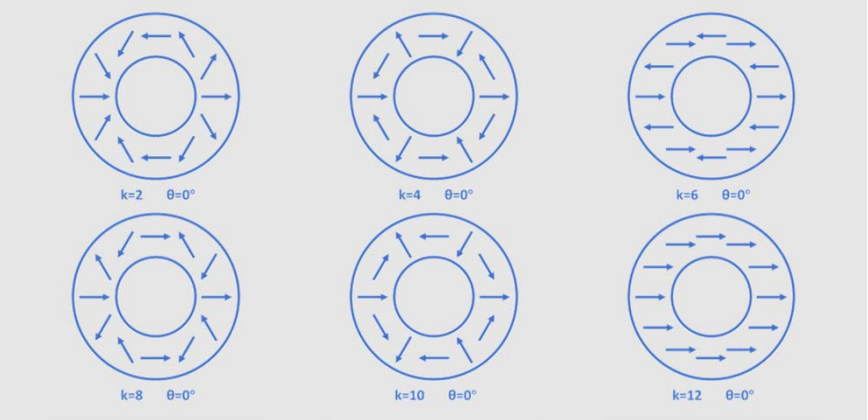
45°反对称



软胶磁铁 ○○○ 直线阵列 ○○○ 环形阵列 ○●○ 磁场之美 ○○

环形阵列·分类

类别二：上下正对称，左右反对称

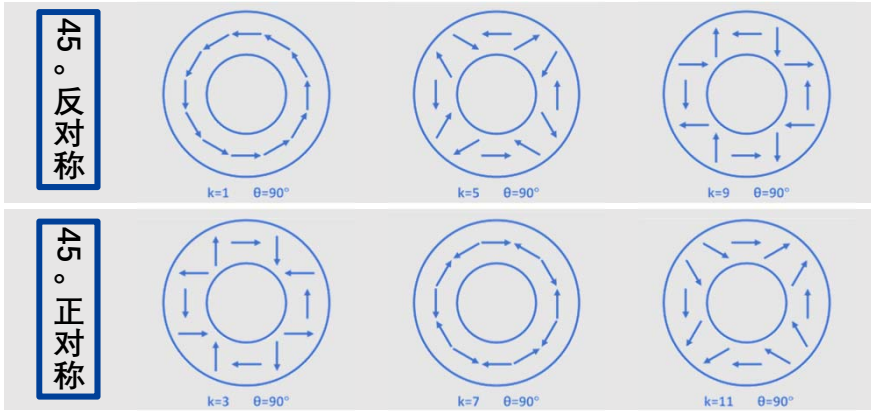


环形阵列·分类

类别三：上下反对称，左右反对称

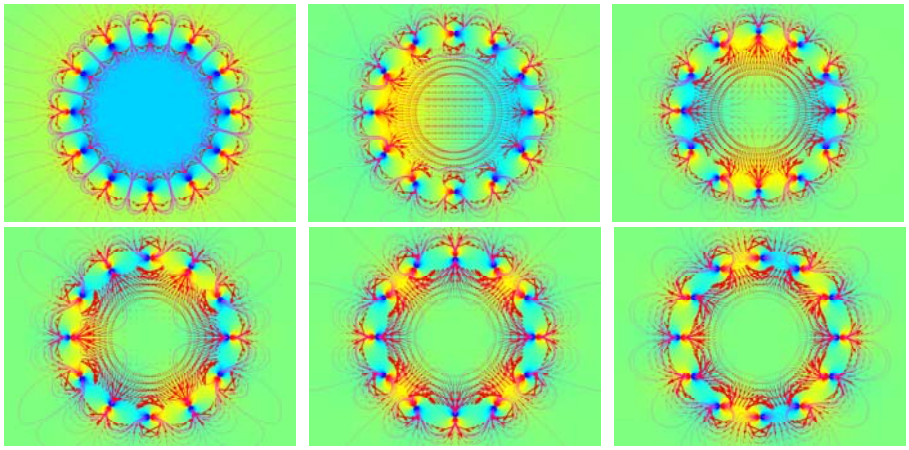
45°反对称

45°正对称



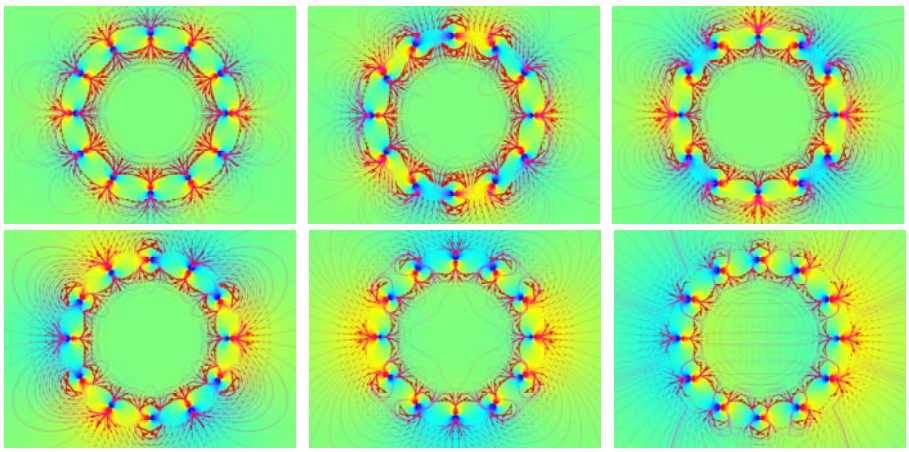
环形阵列·结果

θ=0°,k=1~6　　2~5,内大于外



环形阵列·结果

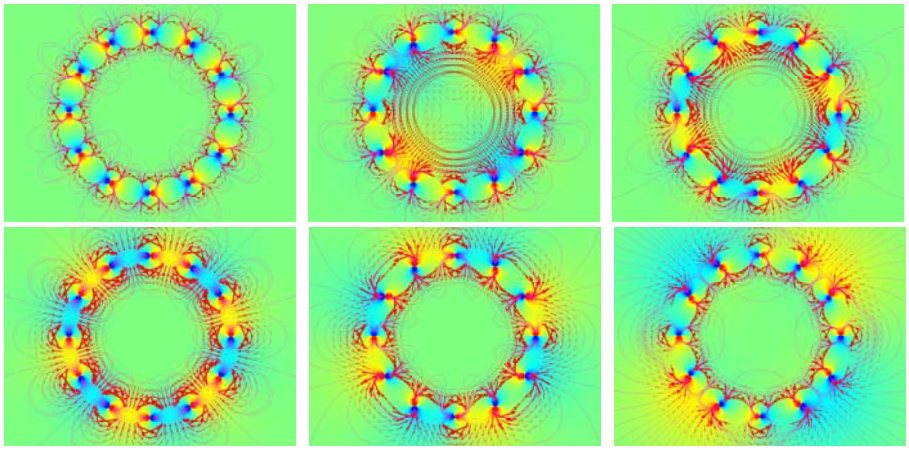
θ=0°,k=7~12　　7~11,外大于内



环形阵列·结果

θ=90°,k=1~11(奇)

3、5,内大于外
7、9、11,外大于内



磁场之美·总结

切入:软胶磁铁 → 两个实验 → Halbach阵列

Halbach阵列 → 直线型Halbach阵列

直线型Halbach阵列 ← 方形电荷模拟
直线型Halbach阵列 ← 电偶极子模拟

最优化算法 → 方形电荷模拟
最优化算法 → 电偶极子模拟

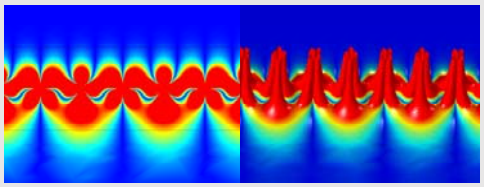
最优化算法 → 六个分布图

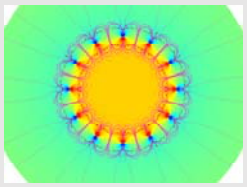
六个分布图 → 单向排列
六个分布图 → 方形磁体

环状Halbach阵列 → 构成 → 分类 → 结果

磁场之美·彩蛋

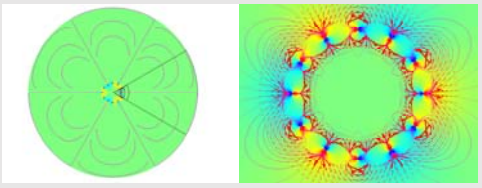
脸谱

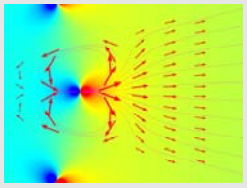




太阳

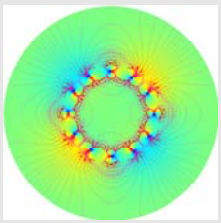
花与蝶



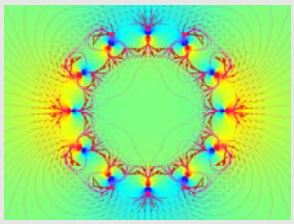


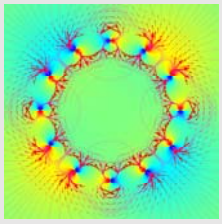
金鱼

磁场之美·彩蛋

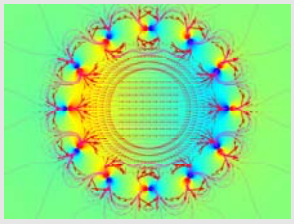


星形



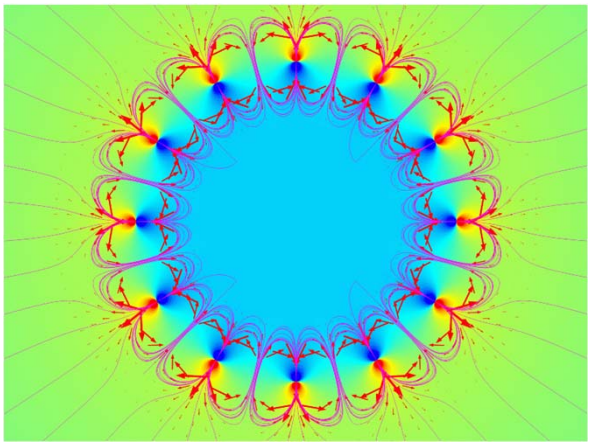


菱形



匀强场

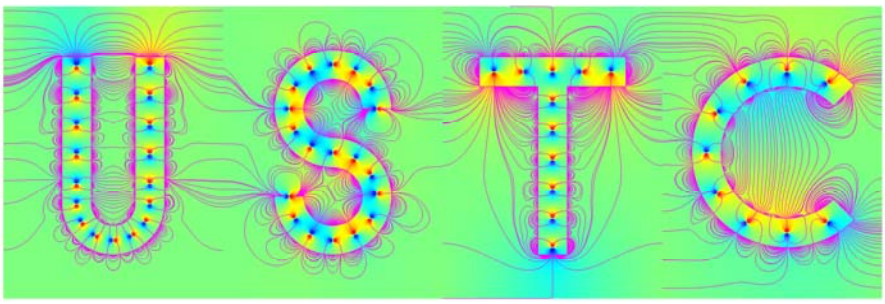
磁场之美•彩蛋



环状Halbach阵列

磁场之美•彩蛋

USTC




29
欢迎批评指正
软胶磁铁磁场分布的简单探究
及 Halbach 阵列的模拟与分析
程玉锟
2019/7/5
软胶磁铁 ○ ○ ○
直线阵列 ○ ○ ○
环形阵列 ○ ○ ○
磁场之美 ○ ○