



## 磁活性流体 (magnetically active fluid) 中的波脉冲 (10 points)

### 引言

在本问题中，你将研究铁磁流体 (ferrofluids) 中波脉冲的特性。流体中的表面波脉冲是由于重力，表面张力和磁力相互作用的结果，满足的色散关系是考题 1 中的方程 (4)。对于波脉冲，没有单个波长或频率，但是知道在没有磁场的情况下脉冲的传播速度是

$$v(d) = \kappa\sqrt{d}, \quad (1)$$

其中  $d$  是流体的深度， $\kappa$  是比例常数。这种关系仅适用于波振幅较小的情况。当波振幅较大时，流体深度的变化会引起传播速度的变化，从而导致非线性效应。当非线性效应不显著时，波脉冲传播时基本保持它们的轮廓。但是，当非线性效应很显著时，脉冲可以在传播中改变轮廓，并常常在主脉冲的前方或后方产生小波痕。

### Part A: 平面波脉冲 (1.3 points)



所需实验装置的照片，(a) 木质底座上的装有铁磁流体的玻璃盒，(b) 木质底座上的玻璃盒，放在凳子上，(c) 相机放在凳子上。

为了在铁磁流体中产生平面波，将装有铁磁流体的容器盒子放在木质底座上，容器盒子长边沿着木质底座边缘的挡条 (barrier)。挡条是为了确保推动盒子时，盒子只能向一个方向移动。确保底座平整且水平。为了产生脉冲，用手快速推盒子约 2 厘米。为了确保脉冲产生的一致性，你可以在木质底座上使用橡皮泥和/或木质垫片 (woodenspacer) 来标记铁磁流体容器起始和终止位置。强烈建议你反复练习生成脉冲，使得产生的脉冲更具有一致性。

然后将凳子放在玻璃盒上方。必须使用灯来提供足够的照明以便能够清楚地观察到流体中的脉冲。确保你可以生成平面波脉冲，并能通过凳子中央的孔，眼睛能够清晰观察到脉冲。当你做到这一点后，将相机放在凳上孔中，录制脉冲视频。请注意，可能需要调整照明和脉冲幅度，以便拍出可用的视频。为了调整照明，你可以用橡皮泥将灯贴在合适的位置，也可以用铝箔纸挡住光线或进一步导光。

当调整光照时，重要的是要考虑如何最大限度地减少光源的光线直接进入相机，以及如何最大限度地减少玻璃盒盖子的反射。提醒：出于安全原因，你绝对不能从玻璃盒上取下盖子。在不同情况下有以下两种可选方案：一是，凳子内的所有方向都有非常漫射的光 (diffuse light)，二是，将光从玻璃盒子的侧面射到流体上。

有关如何录制和回放视频的信息，请参阅附录 A 中的相机说明。请注意相机的默认自动设置适合制作所需的视频。如果你难以清晰地拍摄所观察到的现象，你需要调整光照直到更清晰观察到波脉冲。

**A.1** 画出你的装置图，尤其要显示灯的位置和光的方向。

0.3pt

## Experiment



Asian  
Physics  
Olympiad  
Adelaide 2019

# Q2-2

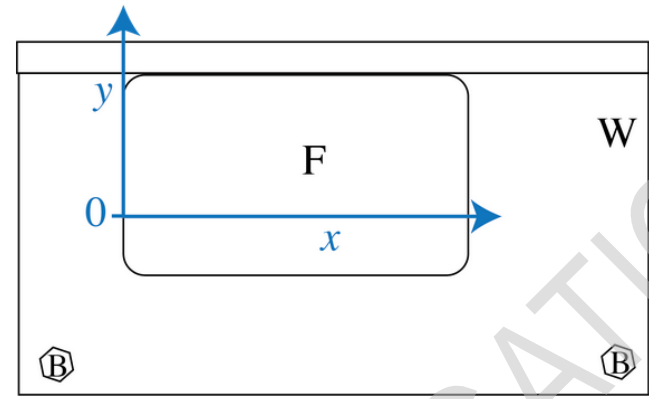
chinese (China)

**A.2** 从视频中进行测量，并计算出铁磁流体中的波的速度。当进行测量时，草绘出视频中的关键帧，草图中要显示重要特征，标记出所有所做的测量。 0.8pt

**A.3** 估算测量的不确定度，写出你用来估算的所有公式。 0.2pt

### Part B: 在深度有变化的流体中的波脉冲 (3.4 分)

将尼龙螺栓从上面拧入木质底座角落的孔中。通过调整螺栓，可以使得平台上的容器盒子中的流体深度随着与低部边缘的距离而线性变化（该方向为  $y$  方向），而与其垂直的方向（ $x$  方向）上深度不变。我们选择流体深度  $d = 0$  处  $y = 0$ ， $xy$  平面即是流体的表面。



在木质底座  $W$  上盛有铁磁流体的玻璃盒装置，容器中流体深度沿  $y$  方向变化。

因为流体中波速随深度变化，所以，如果平面波脉冲在容器的一端产生，在传播时会变得弯曲。

在木质底座上安装装有铁磁流体的玻璃盒，使得你能最好地表征铁磁流体中脉冲速度随深度的变化。

**B.1** i. 装置设置好后，画出装置示意图。在图上标记出所有长度测量值与其不确定度。这些长度对你知道容器中流体的深度随  $y$  变化的函数关系很重要。 0.3pt  
ii. 写出容器中流体深度  $d(y)$  的表达式。

**B.2** 在容器中生成平面波脉冲，并定性绘制出你观察到的一个脉冲。在草图上用字母  $A$  标记脉冲传播最快的区域，用字母  $B$  标记脉冲传播最慢的区域。 0.3pt  
注意：为了清楚观察脉冲，你需要调整灯的位置。要调整照明，您可以使用橡皮泥将灯放在合适的位置，也可以用铝箔制作光阻挡器 (light blockers) 或光反射器 (light reflectors) 进一步引导光线。

作为一级近似，我们只考虑开始沿  $x$  方向行进的波脉冲保持在  $x$  方向传播。注意： $(x, y)$  是在时间  $t$  时，脉冲上各点的坐标。

**B.3** i. 当  $t = 0$  时，对于处于的  $x = 0$  一个平面波脉冲，求出  $x$ ,  $y$  与  $t$  之间的关系。 0.3pt  
ii. 在 B2 的图中，用字母  $V$  来标出铁磁流体满足这一近似条件的最合理的地方。

## Experiment



Asian  
Physics  
Olympiad  
Adelaide 2019

# Q2-3

chinese (China)

**B.4** 画出你的装置示意图，尤其显示灯的位置和光的方向。采集用来计算  $\kappa$  的数据，并记录在答题纸的表格中。包括所有数据的不确定度。当进行测量时，需要画出视频关键帧，图中显示重要特征，并标记所有所做的的测量。 1.2pt

**B.5** i. 作图计算  $\kappa$  的值。包含每个测量数据的误差棒 (errorbar)。提供用于计算  $v$  及其不确定度  $\Delta v$  和  $d$  及其不确定度  $\Delta d$  的所有公式。在 B4 部分的表格中，记录用于作图的任何额外的计算值。 1.3pt  
ii. 在 B3 部分，你给出了  $x$ ,  $y$  和  $t$  的关系来描述观察到的波脉冲。根据你的数据，给出  $x$ ,  $y$  和  $t$  满足的条件。

### Part C: 波及其磁效应 (1.8 points)

警告：如果磁铁碰撞，它们可能会破裂。破碎的磁铁是危险的，如果你弄碎磁铁，将不再提供新的磁铁。

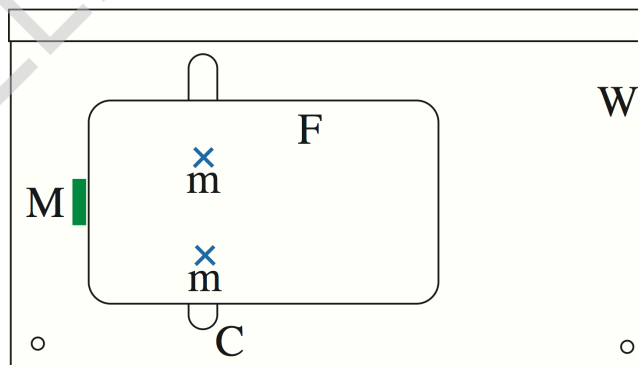
正如你在问题 1 中所观察到的那样，在存在磁场的情况下，铁磁流体会运动到磁场最强的区域。你在这一部分的目的是定性研究波的磁效应。

使玻璃盒中铁磁流体的深度相同，就如你之前产生平面波时那样。之后如下图将两个小磁铁放在玻璃盒下方。磁铁在木制底座的轨道槽里应该这样放置，当推动磁铁让它们侧边靠近时它们相互排斥。整个装置应该是这样的，当流体容器放好后，处于轨道槽里的两个磁铁在不相互排斥的情况下尽可能近。

将磁铁放置到位的一个安全方法是先将一个磁铁放在轨道槽中，然后将装有铁磁流体玻璃盒子放在轨道槽上。你可以用木质垫片 (wooden spacer) 协助来放置第二个磁铁。先将第二块磁铁放在容器盒子附近，再用木质垫片将其沿着容器盒子下方的轨道槽推到合适的位置。

用以下三种方法生成波脉冲：

- 磁性方法：将大的磁铁靠近容器，然后快速远离流体，
- 机械方法：在木质底座上滑动容器，
- 机械方法：容器放在木质底座上，滑动木质底座



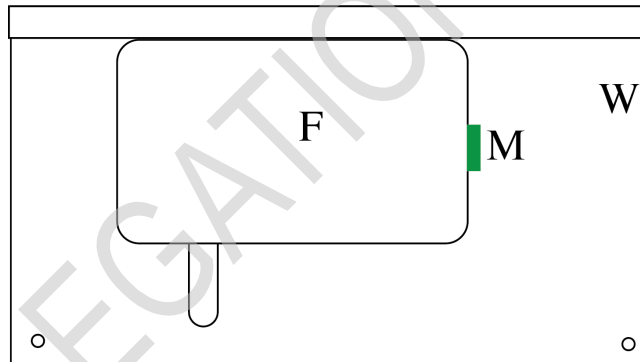
用磁性方法产生脉冲示意图。图中显示了大的磁铁  $M$  快速回撤之前磁铁的位置。图中  $F$  是装有磁性流体的玻璃盒， $m$  是小的磁铁， $W$  是木质底座， $C$  是轨道槽



- C.1** 定性观察用上述三种方法产生的波脉冲，并画出波脉冲的草图，确保示意图清楚地显示流体下的磁铁及脉冲波前，以表明磁铁对波前的影响。识别你观察到的各种波现象。用相应的数字标记哪种效应导致你观察到的脉冲传播的哪种特征。 1.8pt
1. 反射
  2. 折射
  3. 多普勒效应
  4. 拍
  5. 衍射
  6. 干涉
    - (a) 驻波
    - (b) 来自两个狭缝或波源
    - (c) 来自衍射光栅
    - (d) 其他

### Part D: 强磁场中铁磁流体的内部特性 (3.5 points)

在这一部分中，你的目标是量化研究磁铁对铁磁流体中脉冲传播的影响。



示意图显示 D1 中产生波脉冲的磁铁的位置

放置铁磁流体容器，使铁磁流体具有恒定的深度，和前面生成平面波脉冲时一样。

与 C1 一样，用大的 N42 磁铁生成脉冲，并调整照明以清楚地观察磁性驱动的脉冲。

- |            |  |       |
|------------|--|-------|
| <b>D.1</b> | 定性画出铁磁流体中用磁性方法产生的波脉冲的草图。   | 0.2pt |
| <b>D.2</b> | 确定脉冲速度及其不确定度。画出装置图，包括灯的位置和光照方向，记录你使用的所有数据和公式。进行测量时，绘制视频关键帧的草图，草图要显示重要特征，并标记出所有所做的测量。 | 0.8pt |

将单个小的磁铁放入木质底座的轨道槽中，然后将玻璃盒和铁磁流体放置在磁铁上面。磁铁的位置可以用木质垫片调整。

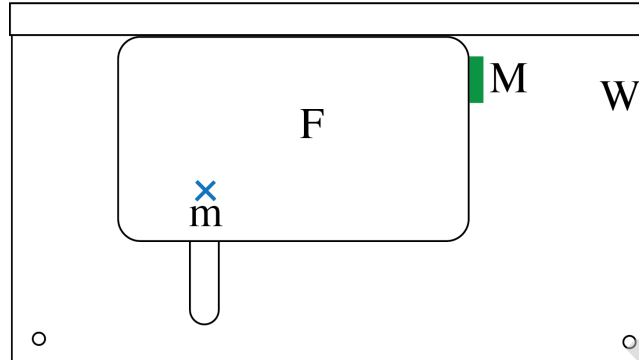
## Experiment



Asian  
Physics  
Olympiad  
Adelaide 2019

# Q2-5

chinese (China)



装有铁磁流体的玻璃盒下方小磁铁的位置用  $x$  标记，产生波脉冲的大磁铁的位置用  $M$  表示。大磁铁先放在玻璃盒的外面，然后快速离开，从而产生波脉冲。

用磁性方法产生波脉冲。产生之前先将大的磁铁放在上图中  $M$  位置。观察流体中脉冲的传播，包括小磁铁上方的强磁场区域。

- |            |  |       |
|------------|--|-------|
| <b>D.3</b> | 画出定性观察到的波脉冲草图。确保图中清楚地显示流体下的磁铁及波前，以表明磁铁对波前的影响。                                  | 0.4pt |
| <b>D.4</b> | 画出你的装置示意图以确定铁磁流体下磁铁对波脉冲传播时间的影响。清楚地标出磁铁的位置和灯的位置。                                | 0.3pt |
| <b>D.5</b> | 测量，记录数据及其不确定度，确定一个波脉冲通过磁铁区域的时间及其不确定度。当测量时，也要画出视频关键帧的示意图，示意图要显示重要特征，并标记所有所做的测量。 | 1.0pt |
| <b>D.6</b> | 铁磁流体经过磁铁上方时高度增加，这个额外的高度是否解释了波脉冲速度的差异？用计算支持你的答案。                                | 0.8pt |



### 附录 A：如何使用佳能 IXUS-185

要打开或关闭相机，请按相机顶部标有“ON / OFF”的按钮（O）。注意一段时间后相机会自动关闭。

要聚焦相机，请按相机顶部的按钮（S）到半（别按到底）。

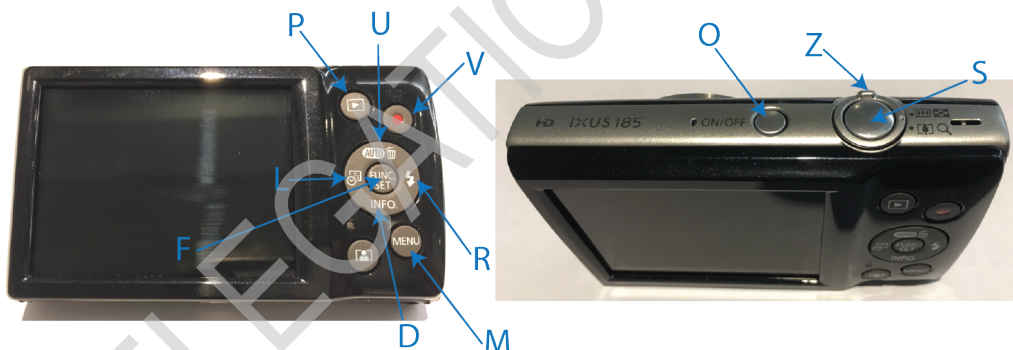
要拍照，请按相机顶部的按钮（S）。

要拍摄视频，请按标有红点的按钮（V）开始录制。再按一次停止录制。请注意 HD 视频录制的默认设置为 25 帧每秒。

要查看拍摄的照片或视频，请按回看按钮（P）。使用相机背面环形按钮中的右（R）和左（L）按钮浏览照片和视频。

- 您可以使用相机顶部的环（Z）放大或缩小照片。注意：你不能缩放拍摄的视频。
- 要播放视频，请按下背面环形按钮中间的“FUNC.SET”按钮（F）相机两次。
- 要暂停播放视频，在视频播放过程中按相机背面环形按钮中间的“FUNC.SET”按钮（F）暂停视频播放。
- 视频暂停时，在屏幕底部有选项。从左到右选项依次是：退出，播放，慢动作，向后跳过，上一帧，下一帧，向前跳过。使用在相机背面的环形按钮上的右（R）和左（L）按钮切换选项，以及相机背面环形按钮中间的“FUNC.SET”按钮（F）改变视频播放的音量。

要放大或缩小，请将相机顶部的环（Z）向左推以缩小，向右推以放大。



要进入相机设置菜单，请按标有“MENU”的按钮（M），然后使用相机背面的右侧环形按钮（R）在进入相机设置菜单。请注意，第一个选项是静音相机声音。

- 使用相机背面环形按钮上的右（R），左（L），上（U）和下（D）按钮浏览菜单。
- 使用相机背面响环形按钮中间的“FUNC.SET”按钮（F）进行选择选项。
- 使用“MENU”按钮（M）退出菜单或返回上一级菜单。

要更改相机的语言，请先进入相机设置菜单（参见上文）。按相机背面向右下方标有“INFO”的按钮（D）。向下滚动许多页面列表找到“语言”。然后按相机背面的环形右侧按钮（R）进入列表语言选择。按背面环形按钮上的右（R），左（L），上（U）和下（D）按钮，相机导航到你选择的语言。使用环形按钮中间的“FUNC.SET”按钮（F）选择语言。

**注意：**因为默认的自动设置适合你视频录制的需要，除了更改语言外，你不应该更改相机上的任何设置。通过调整实验装置的照明，你将获得更好的效果。