

科学人

视觉

物理

2121字  
需用时 04:14

16

55

## 酷炫动图（二十二）：窥见声音的涟漪

LePtC

微风拂过时，我们可以用皮肤感受到空气的流动，竖耳倾听时，空气的振动也敲击着我们的耳膜，但在视觉的世界里，透明的空气似乎总处于隐形状态。如果不借助烟雾和飘动的树叶，我们可以看到空气的流动吗？

其实，空气的波动是可以被看见的。无论是空气的对流，还是声音造成的振动，其实都会让空气局部的密度发生改变，而不同密度空气对光线的折射率也是不一样的，当光线通过其中时就会产生折射，扭曲我们所看到的景象。当你注视着火焰上方的热空气时，就能感受到这样飘忽不定的“热浪”。

不过，在生活中的大部分时候，因为空气密度的变化并不强烈，这样的“气浪”依然难得一见，即使看得到，也往往看不清楚。在电影里面，我们倒是会看到“音浪太强”带来的扭曲画面，但这只是加特技的结果。声音是在空气中传播的密度变化波，但是日常的声音还是太弱了，很难产生肉眼可见的变化。



这样的“音浪”在电影特效里才能看到。图片来自：Roundtable Rival 剧照

那要想看看真的声浪怎么办呢？最简单粗暴的方法当然是增加声波强度。导演，把仓库里那吨火药都招呼上！



原视频来自：BBC纪录片《隐形世界》

是的，我们需要爆炸的冲击波才能制造出肉眼可见的空气密度变化，上面的动图展示的就是这一场景。当然，空气中的声速有 340 米/秒，所以你需要离得很远，然后放慢动作才能看清。

LePtC

物理学博士生

新版果壳  
您喜欢吗？

喜欢

如何自己制  
APP如何制作

1547阅读

科学人

视觉

物理

2121字

需用时 04:14



# 能不能再给力点~

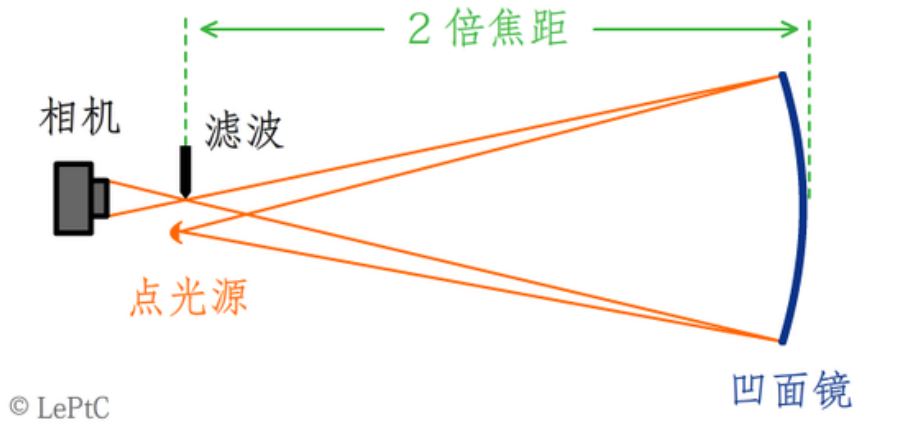
透明，也要让你现形！

事实上，这样的方法是有的，只需要给光源做点改变，就能在原本透明一片的空气中看到更加清晰的气流了，声波造成的空气密度变化也不例外。



图片来自：Victor Miller, Matthew Tilghman, Ronald Hanson

上面图中就是一个吹火柴的“气流现形图”，看起来效果很棒是不？这种技术就是纹影成像法（Schlieren photography）。“Schlieren”是德语“条纹”的意思，这种技术是1864 年由德国物理学家托普勒发明的（和今天不同，在那个时候德语才是物理学的“工作语言”）。纹影成像装置有很多种，下面这种是最简单的：



© LePtC

装置的关键在于一面凹面反射镜，焦距大的效果更佳。将点光源放在球心（对于球面镜，半径就等于2 倍焦距）的位置，这样反射回来的像也成在球心的位置。不过为了避免光源挡住

科学人

视觉

物理

2121字

需用时 04:14

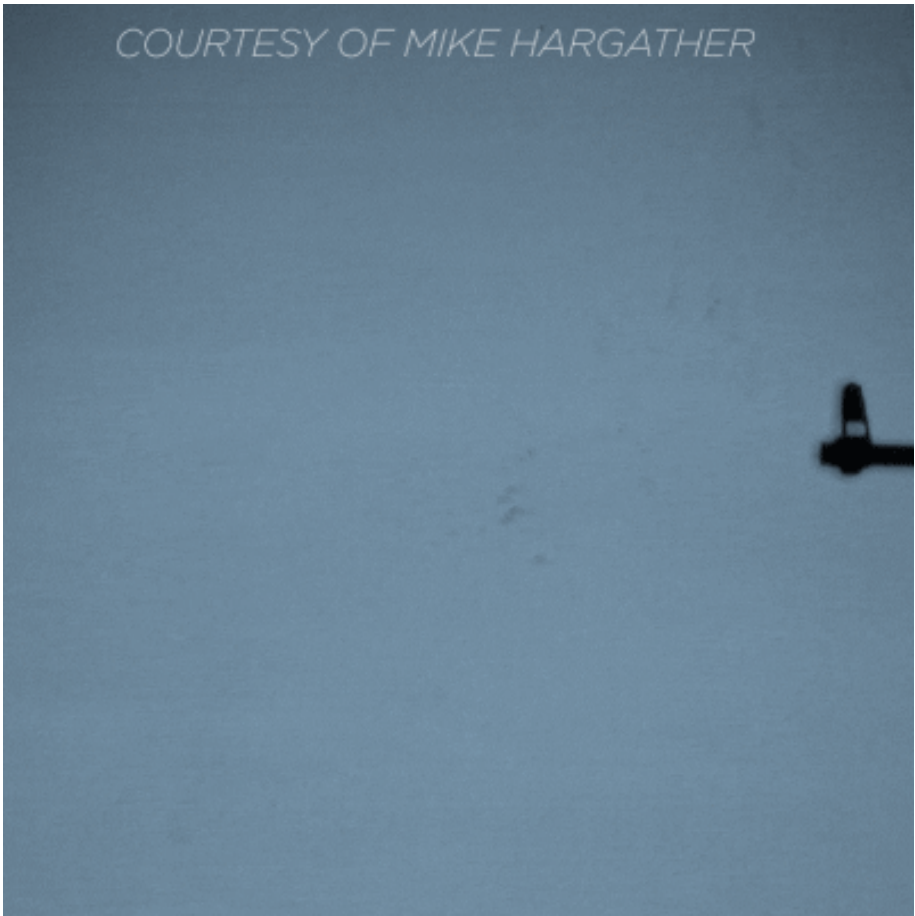
16

55

利用这种方法，让声音现形也不在话下。在下面的图中，我们可以看到水波一般的“涟漪”，这就是在空气中振动的声波：



纹影法拍摄击掌的过程。原视频来自：What Does Sound Look Like? NPR



AK47产生的气流和声波“涟漪”。原视频来自：What Does Sound Look Like? NPR

科学人

视觉

物理

2121字

需用时 04:14

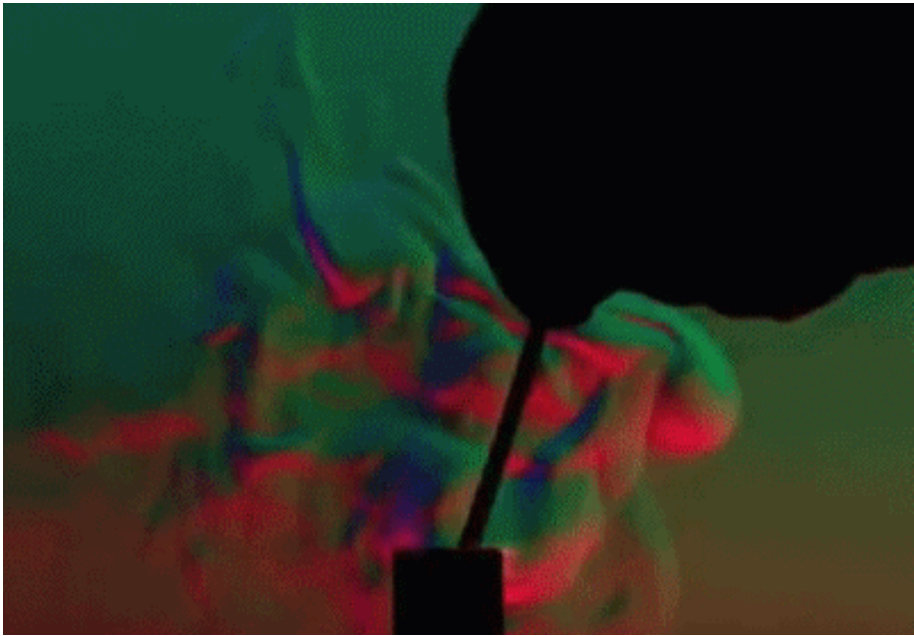
16

55



书本掉落产生的声波。原视频来自：What Does Sound Look Like? NPR

另外，如果改成用彩色的滤光片去挡的话，还可以拍摄到彩色的纹影图像：



火柴燃烧产生的气流纹影。原视频来自：RMIT University



科学人

视觉

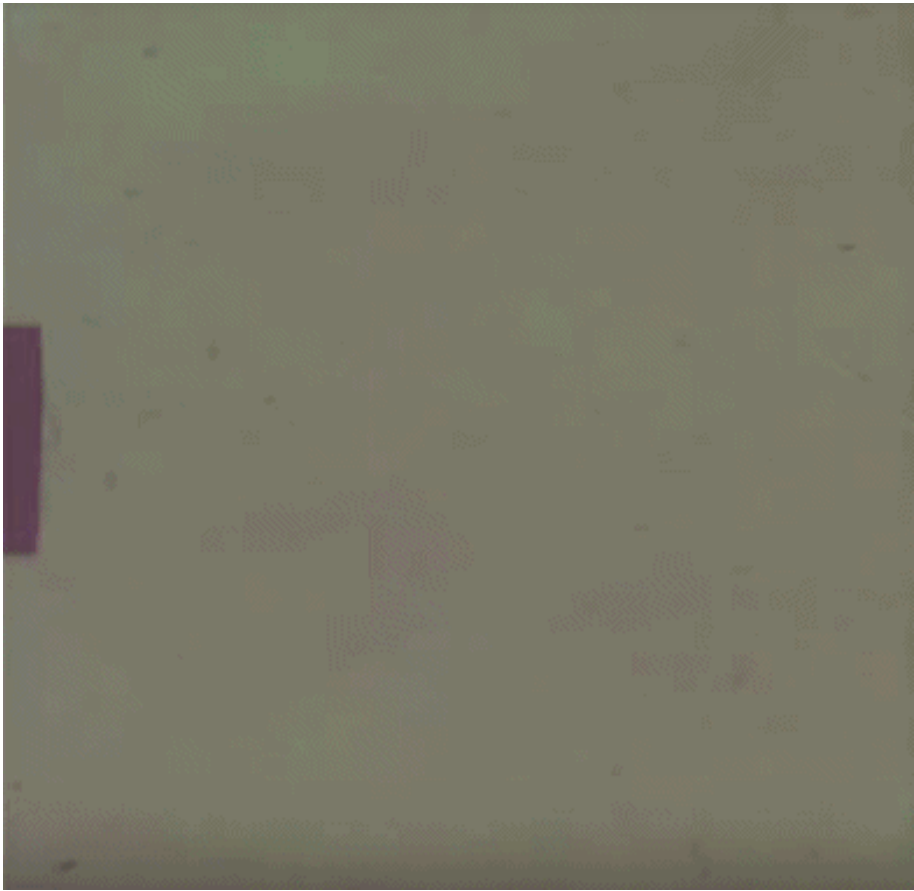
物理

2121字

需用时 04:14

16

55



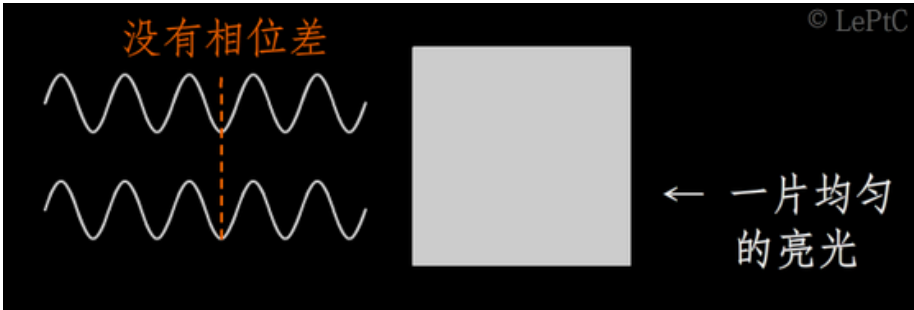
激波管（一种压缩气体产生激波的实验装置）的彩色纹影图像。原视频来自：NACImageTechnology

干涉的光影游戏

那么，透明的气流究竟是怎样获得明暗对比的呢？空气密度不同带来的折射固然重要，但只靠它可不行。其实，问题的关键在于光的干涉。

我们在中学课本上都会学到干涉的物理现象，不同相位的光波之间发生干涉时，会产生两种结果：叠加变得更明亮，或者相互抵消变暗，而这种差异就给了我们让透明现形的机会。

下面我们来看几张示意图。首先，假设我们用一片均匀光照射一块均一透明的介质，光通过其中时不会产生什么相位差，你看到的会是一片均匀的亮光：



接下来，我们放入一块迷之透明物体，它的折射率比外面的介质大一些，所以光在物体内跑的更久一些，出来之后就与旁边的光有了相位差。但是，由于物体透明度很高，出来的光强度和原来差不多，所以你依然无法清晰地分辨物体：

科学人

视觉

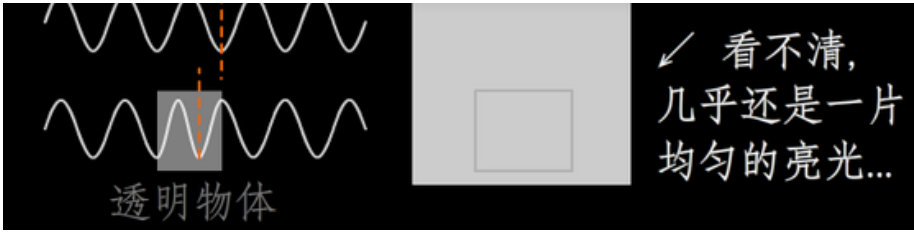
物理

2121字

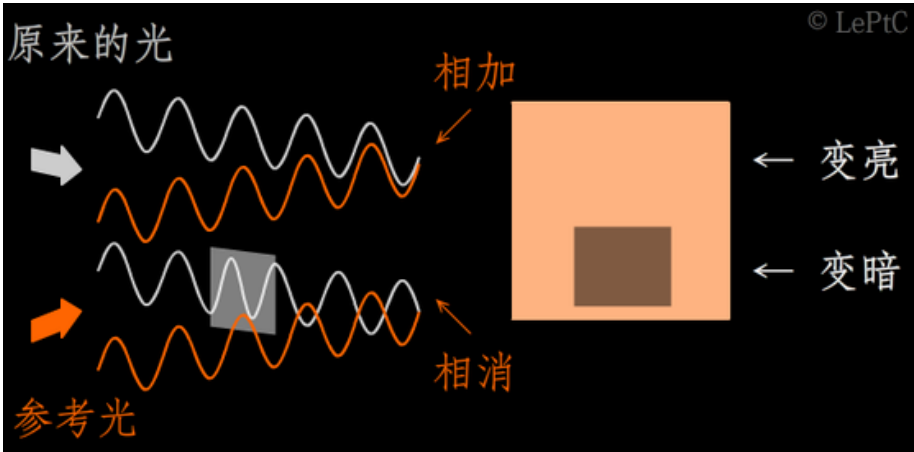
需用时 04:14

16

55

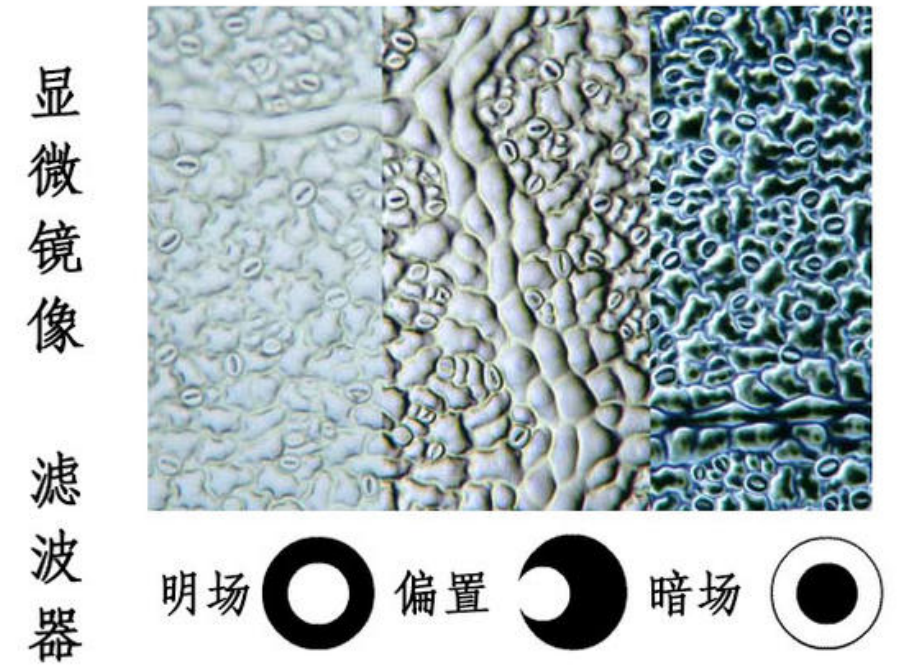


那么该怎么办呢？我们可以再加入一束参考光和它发生干涉。这时候，明暗的差别就显现出来了：



类似的技术在生物学界也有很多应用。生物学家常要在光学显微镜下观察各种小小的细胞结构，但这些结构往往自身没什么颜色，也不容易分辨。在染色之外，利用上述原理的相差显微镜（Phase contrast microscopy）就是一个很好的选择。

在实践中，我们有多种方法可以实现这种相位可视化，常见的一种就是在透镜后的焦平面上做挡光或相移处理，纹影成像也是如此。透镜的后焦面是一个很神奇的位置，在这个面上，接近焦点的光代表物像中的低频成分，偏离焦点的光代表物像中的高频成分。我们在后焦面上做处理，就相当于让物像中不同成分的光来发生干涉。



不同滤波方式下叶脉的显微图像。偏置法可以让图像有一种立体的浮雕效果，如同阳光斜着照亮月球时立体感更强一样。这便是前面纹影成像所采取的“挡掉一半”方式。

科学人

视觉

物理

2121字

需用时 04:14

16

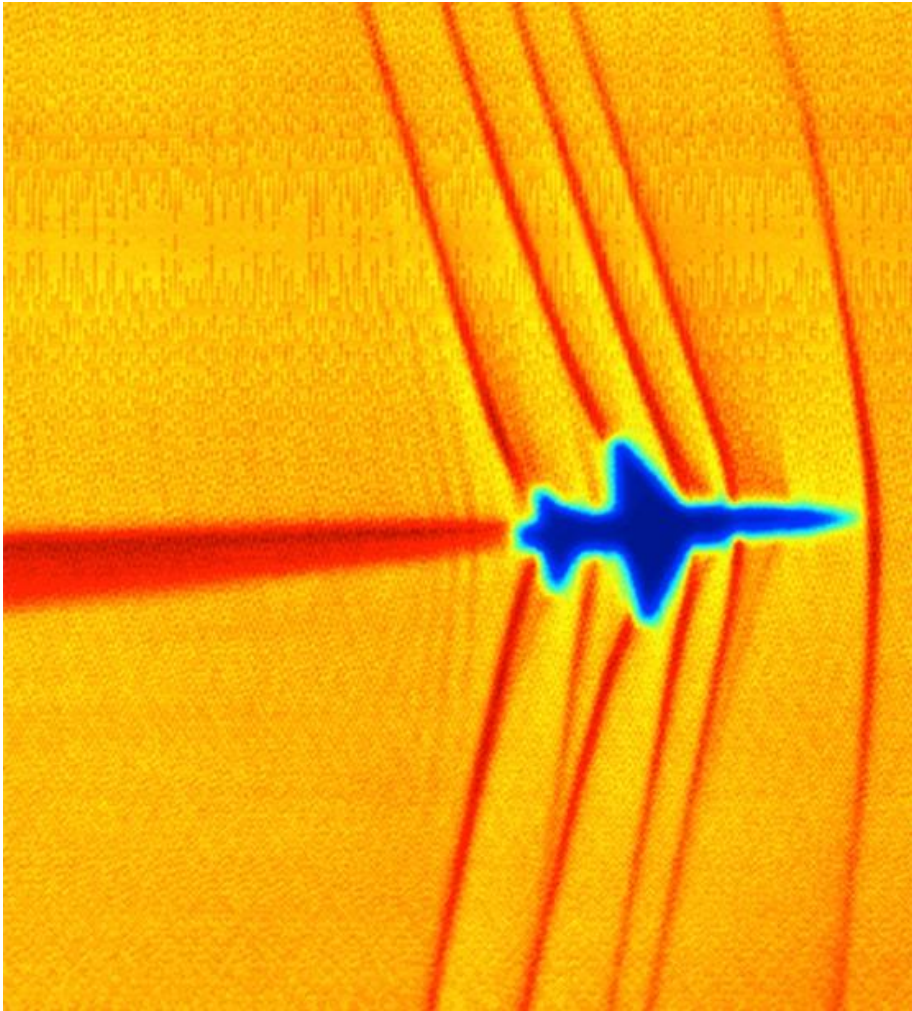
55

有了纹影成像技术，人们就能在实验室里研究声音和气流了，不过这些图像似乎还是不能满足喜欢大场面的观众们。还能不能更给力点，拍点大场面？



## 能不能再给力点~

当然可以！这次，我们换上超大号的光源——太阳，来拍一拍天上的飞机：



图片来自：NASA

上图中的就是 NASA 拍摄的超音速教练机 T-38C 飞过太阳时产生的激波（声源以超音速运动时发出呈锥形的波）。


不过，和传统的纹影法不同，这并不是通过光的干涉拍出的图像。在这里，让气流显形依靠的其实是 NASA 的图像处理技术。不同密度气流的折射会让背景上的纹理扭曲，而通过对扭曲程度的分析，就可以计算出空气密度的变化，并把它转化成纹影图像。这种成像方法被称为背景纹影法（BOS，background oriented schlieren）。


一开始，人们只能利用太阳的边缘作背景，在飞机刚飞进和刚离开太阳时进行拍摄。这是因为，太阳君的光球层是一片均匀的圣光，它缺乏图像分析处理所需要的背景特征。不过后来天文学家给了他们提示，用一种特殊的滤镜来过滤光波（钙-K 线，波长约 393.4nm，接近紫外波段），可以看到太阳君的色球层。而色球层就有着丰富的纹理，是绝佳的拍摄背景。这种方法称为“钙-K 线太阳背景纹影法”（CaKEBOS）。


科学人


- 视觉
- 物理

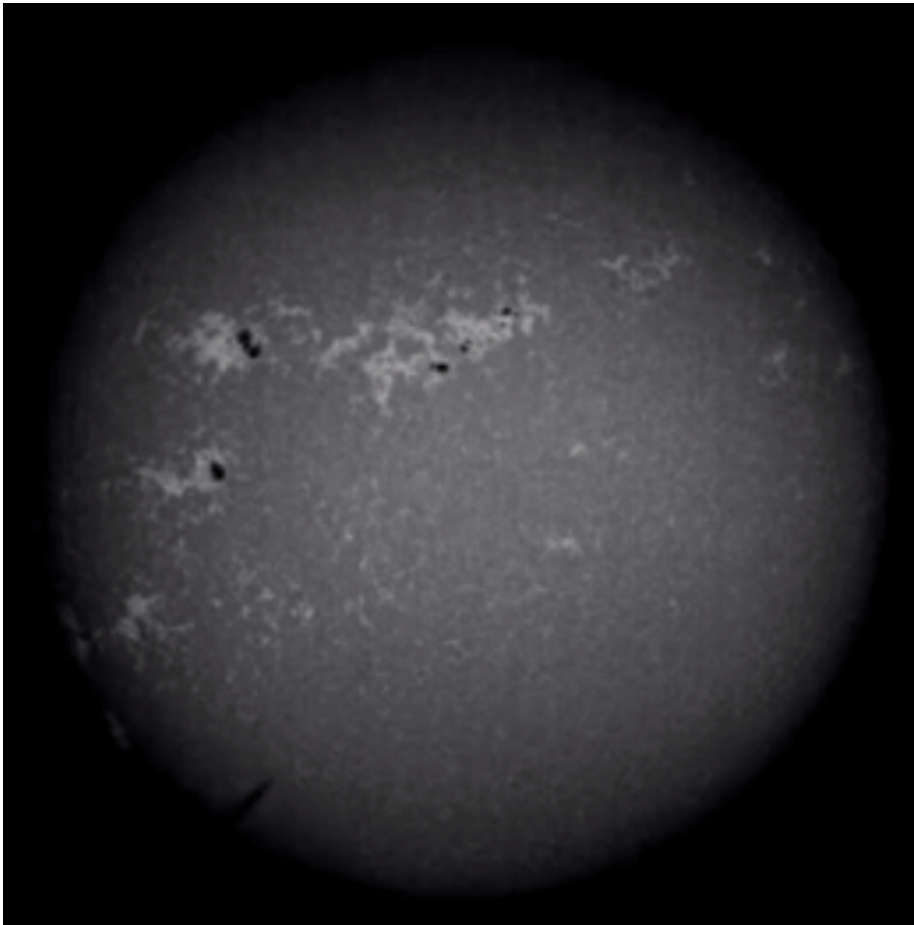
2121字  
需用时 04:14

  
16

  
55

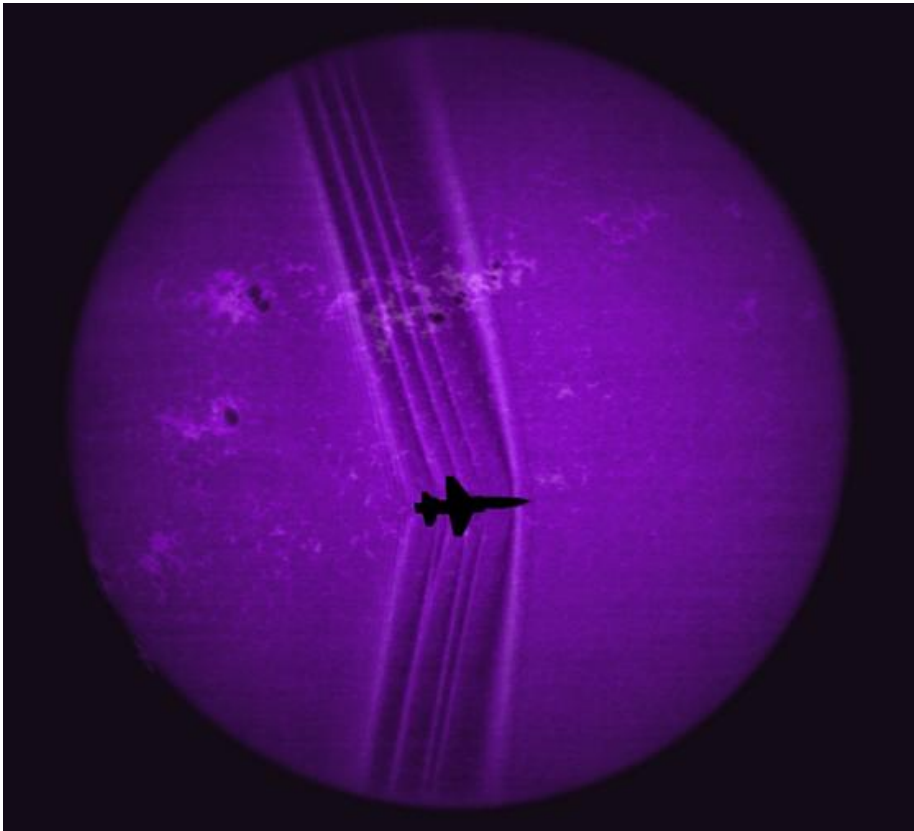






原视频来自：NASA Armstrong Flight Research Center

而在图像处理之后，波纹就清晰地现形啦：



图片来自：NASA



验。（编辑：窗敲雨）

文中示意图由作者提供。

The End

发布于2015-11-04， 本文版权属于果壳网（guokr.com），禁止转载。如有需要，请联系果壳。

我的评论

请 登录 发表评论

果壳

科技有意思 · 果壳走着瞧

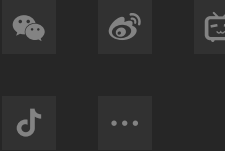
关于果壳

- 媒体报道
- 商务合作
- 关于我们
- 加入我们
- 免责声明

联系我们

- 电话  
+86 010-85805342
- 邮箱  
service@guokr.com
- 更多联系方式

关注我们



下载果壳app