



星火十二期 “相干结构”

COHERENT STRUCTURES IN SPARK 12

刘晋源

星火计划十二期学员

清华大学航天航空学院

wallturb@gmail.com

2020年5月16日

目录

- 一、从层流到湍流：本科学学习
- 二、湍流相干结构：星火计划

一、从层流到湍流

从层流到湍流 FROM LAMINAR TO TURBULENT

层流
一点也不乱



光滑的
简单的
令人喜欢的

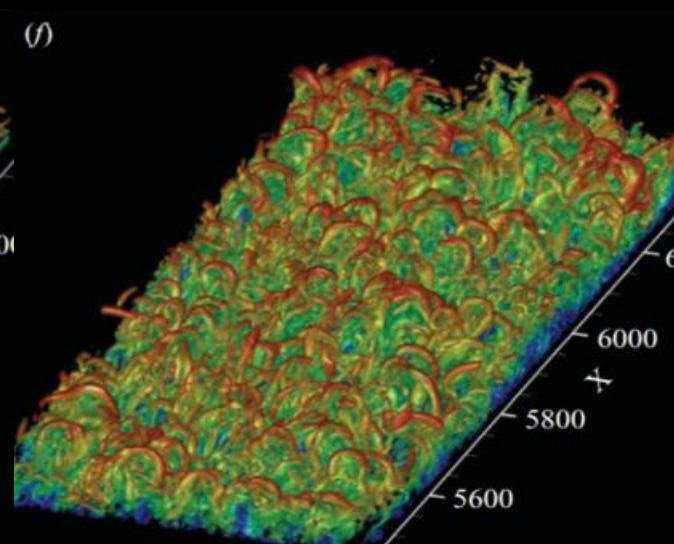
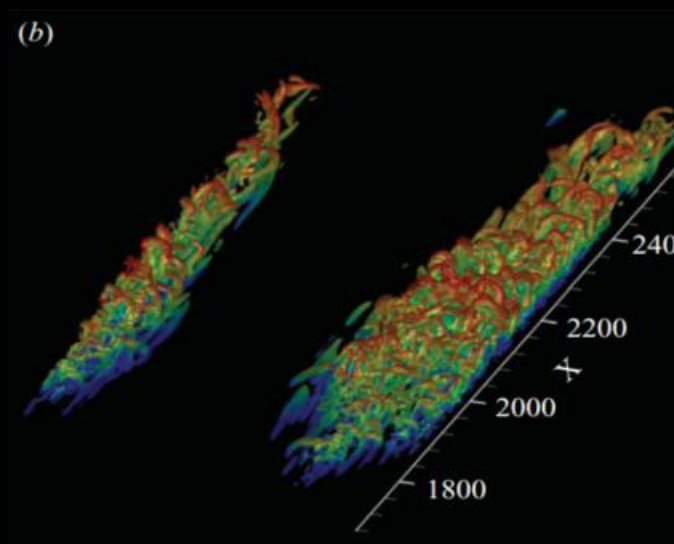
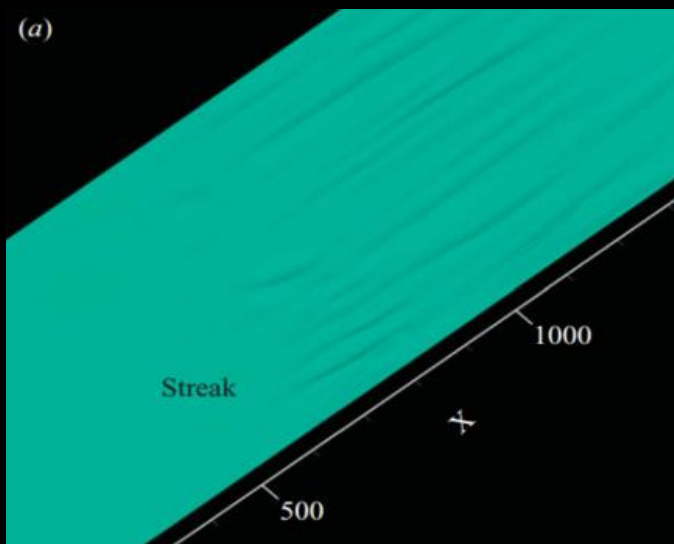
转捩
开始有一点乱



湍流
乱得很



分形的
复杂的
令人头疼的

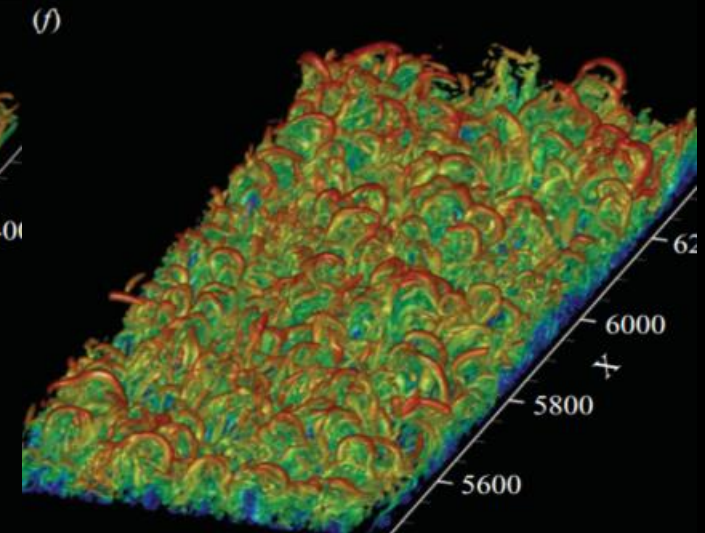
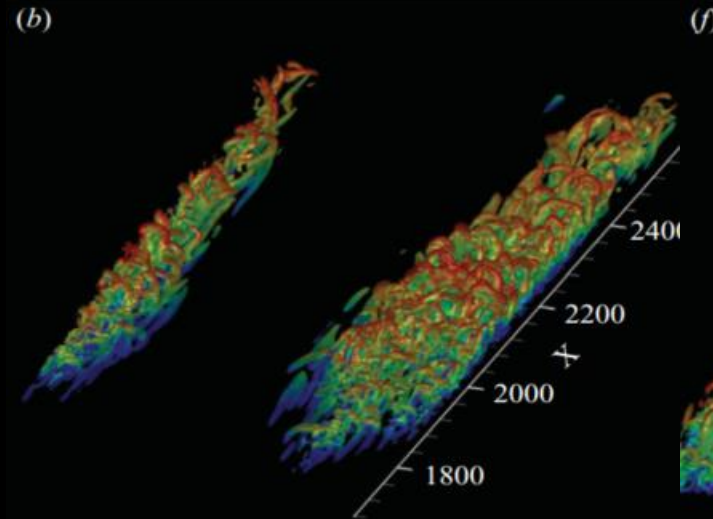
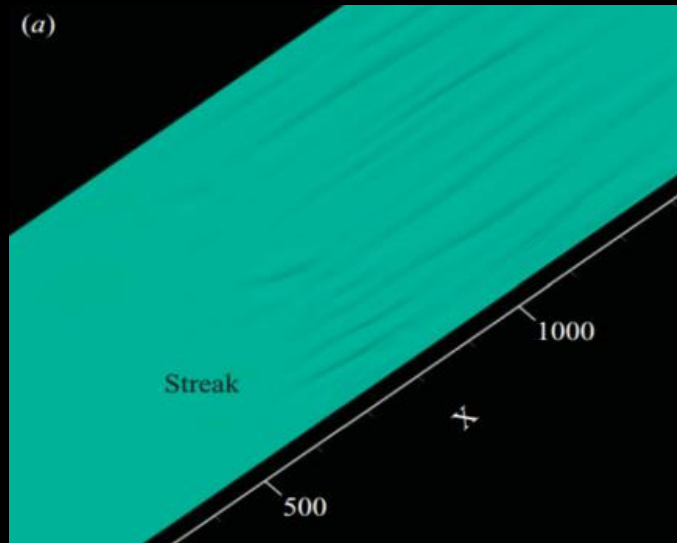


从层流到湍流 FROM LAMINAR TO TURBULENT

- 层流：分层的光滑的流动
- 湍流（乱流 日语）：多尺度不规则的运动
 - 开始在一起的两个质点一段时间后间隔很远
 - 没有任何两个时刻是一样的



The school river, personal observation



WHAT I HAVE BEEN STUDYING
ENTHUSIASTICALLY

二、湍流相干结构

湍流相干结构 TURBULENCE COHERENT STRUCTURES

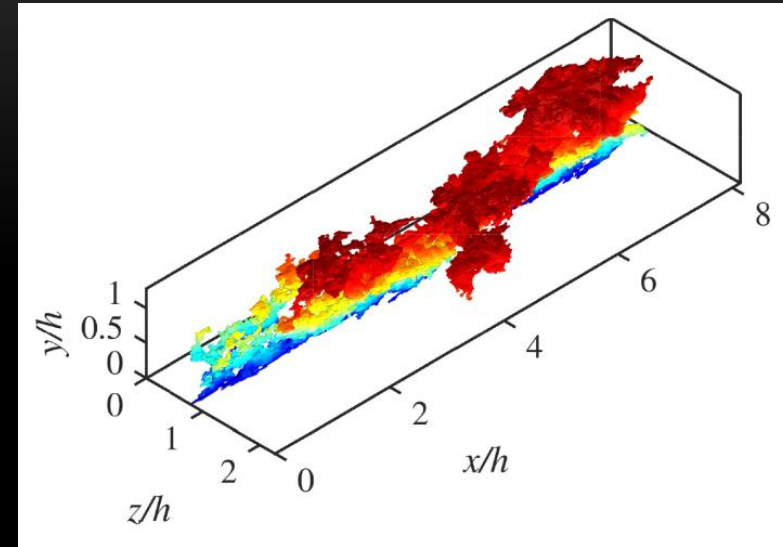
- 相干结构:

$$u_i(\mathbf{x}) > \alpha u'_i(y) \quad \text{or} \quad u_i(\mathbf{x}) < -\alpha u'_i(y)$$

- 各部分保持显著的相关关系
 - 并持续足够长的一段时间
 - 以致于对统计量产生影响
- 瞬时场中某一物理量**强于统计值**的点的集合
 - Stronger with respect to the background
 - 动力学过程具有一定**程度的独立性**
 - Autonomous and energy-conserved

$$\partial_t \text{Structure} = f(\text{Structure}) + \dots$$

JJ, JFM18-P1



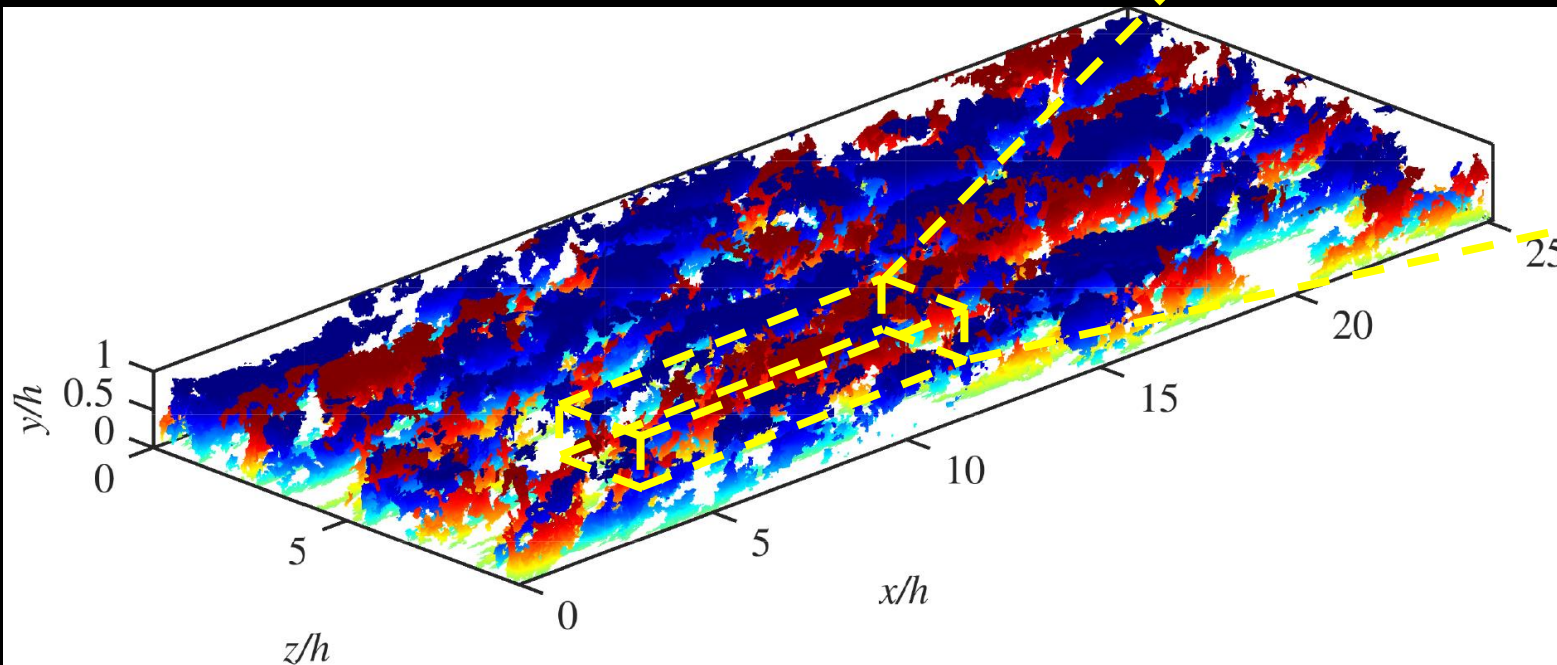
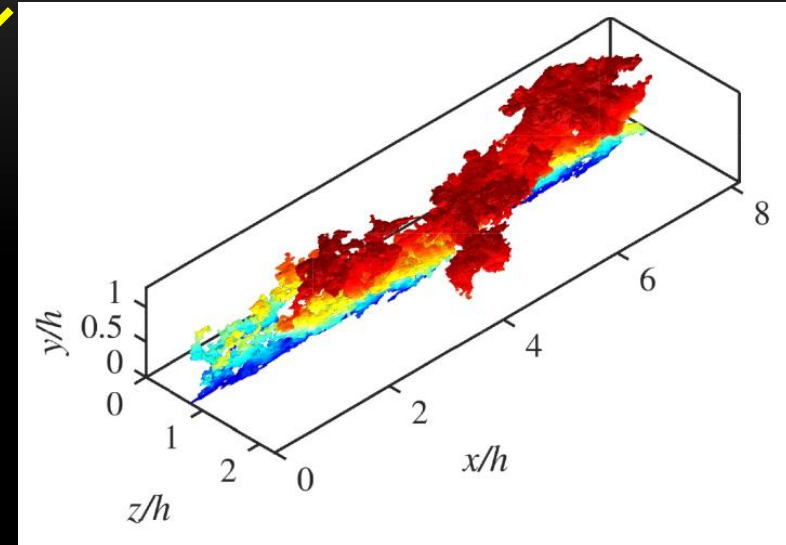
J. Liu and J. Jimenez, Technical Note



Clouds, private observation

相干结构的提取 EXTRACTING COHERENT STRUCTURES

- The current state of turbulence research
 - From generating data to understanding data
 - From Tycho to Kepler
- Representative of the dynamics
 - How turbulence work



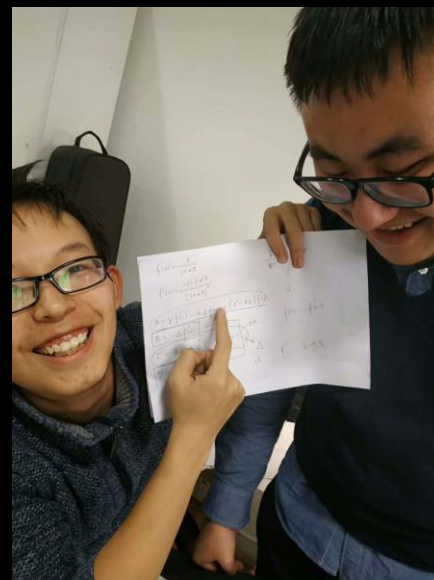
- About 8 times stronger than the background fluctuation in terms of specific strength, statistically.

星火相干结构 SPARK 12 COHERENT STRUCTURES

- 相干结构：
 - 各部分保持显著的相关关系 – 319有hhd的话，大概率也有我
 - 并持续足够长的一段时间 – 这件事很长一段时间内都成立
 - 以致于对统计量产生影响 – 天猫超市的营业额有一定增加
- 举例：



贾以涵、何炜华、田洋；
2019年国际大学生类脑计算大赛



侯贺冬、张中弛、葛霄飞；
2019数学建模美赛

星火相干结构 SPARK 12 COHERENT STRUCTURES



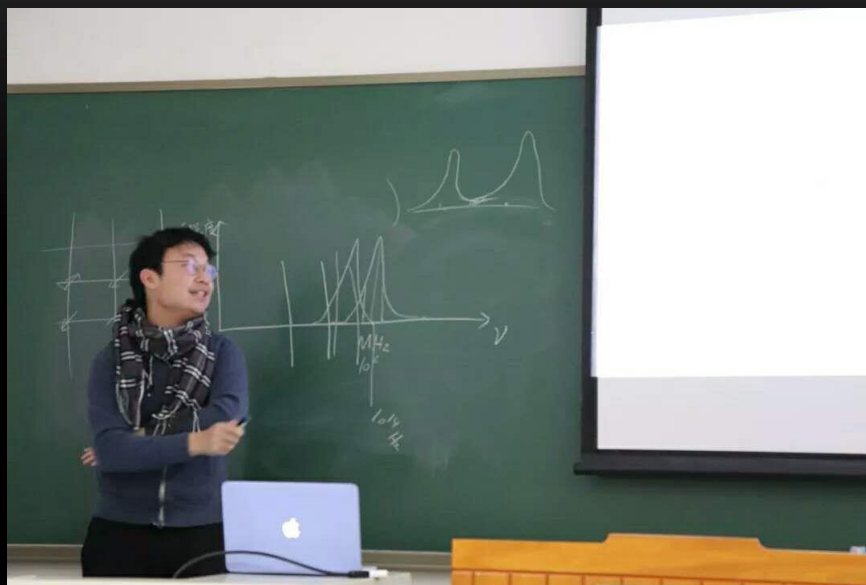
2018年暑假北欧实践



2019年寒假珠三角实践

星火相干结构 SPARK 12 COHERENT STRUCTURES

Spark Talk (a)



Spark Talk (b)



Spark Talk (c)



Spark Talk (d)



星火相干结构 SPARK 12 COHERENT STRUCTURES



宜家中国—校外Spark Talk



星火学术年会

结束语：为何要有相干结构？

为何要相干结构 WHY COHERENT STRUCTURES

- 各部分倾向于组织成相干结构来避免耗散
- 能量从大尺度输入湍流

$$\frac{\partial \langle u_i u_j \rangle}{\partial t} + \langle U_j \rangle \frac{\partial \langle u_i u_j \rangle}{\partial x_j} = d_{ij} + \mathcal{P}_{ij} + \Phi_{ij} - \epsilon_{ij}$$

↙ ↘
↗ ↘
↑
↑

随质点变化 扩散 生成 再分配 耗散

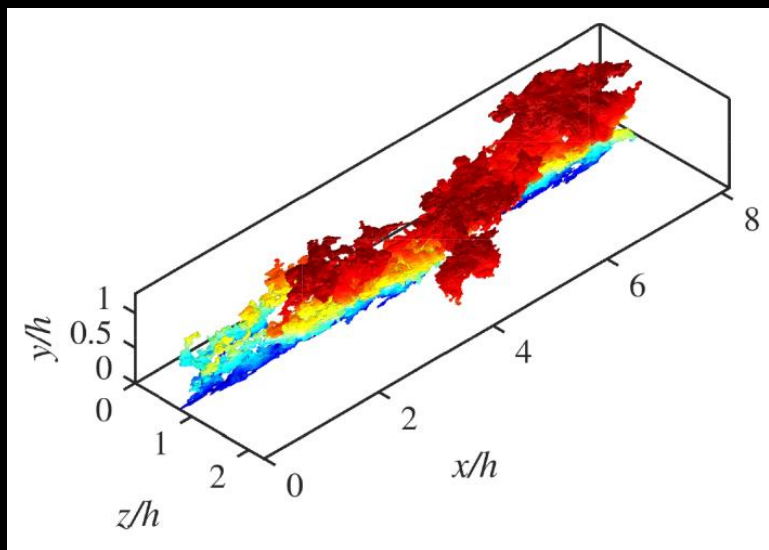
$$d_{ij} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\nu \frac{\partial \langle u_i u_j \rangle}{\partial x_k} - \langle u_i u_j u_k \rangle - \langle p u_i \rangle \delta_{jk} - \langle p u_j \rangle \delta_{ik} \right)$$

$$\mathcal{P}_{ij} = -\langle u_k u_j \rangle \frac{\partial \langle U_i \rangle}{\partial x_k} - \langle u_k u_i \rangle \frac{\partial \langle U_j \rangle}{\partial x_k}$$

$$\Phi_{ij} = 2 \langle p s_{ij} \rangle$$

$$\epsilon_{ij} = 2\nu \left\langle \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \right\rangle$$

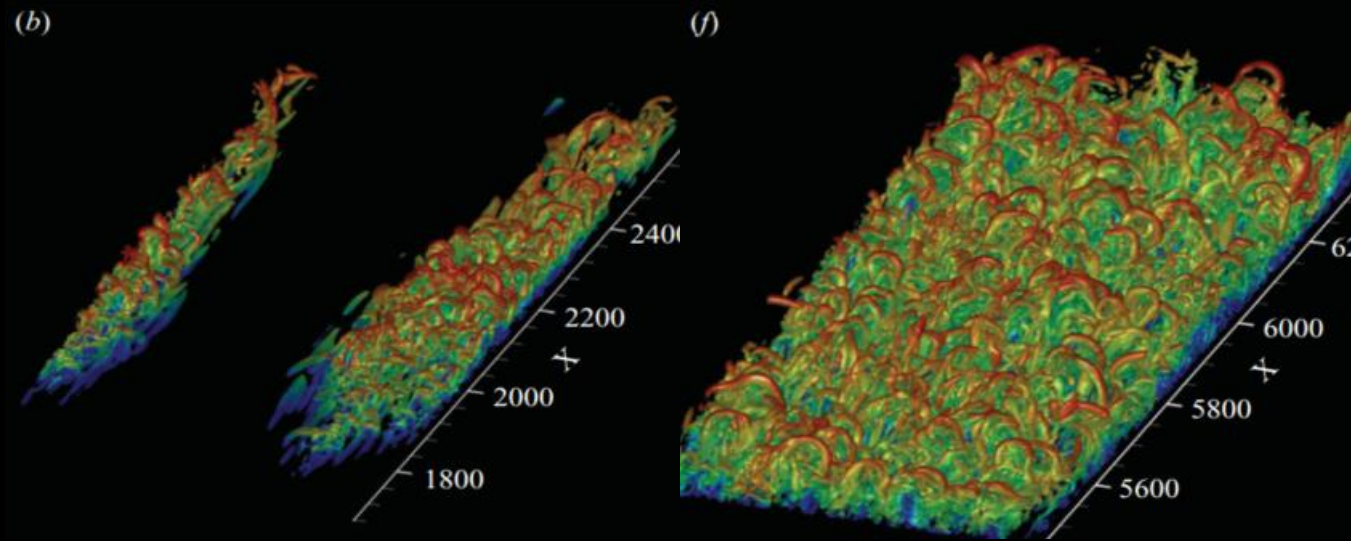
湍流动能的输运方程, J. Liu, THU Thesis



J. Liu and J. Jimenez, Technical Note

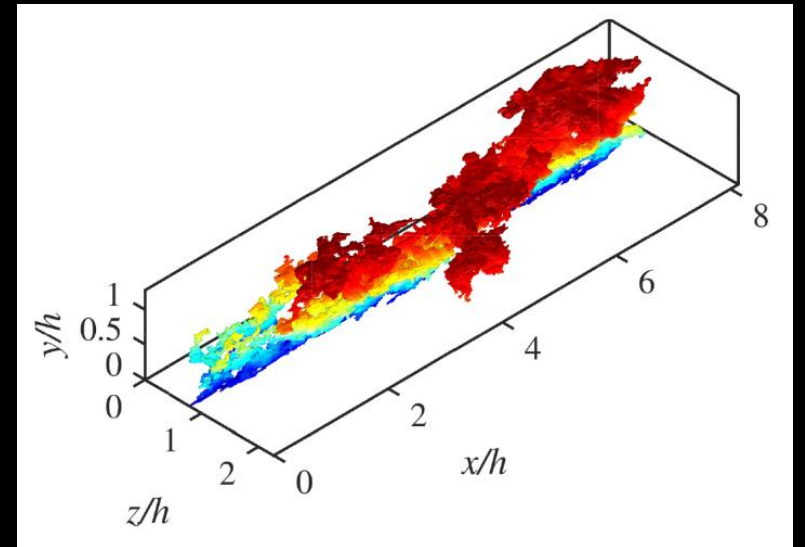
相干结构的意义 SIGNIFICANCE

- 转捩期间的结构在完全湍流段仍留有足迹
 - They share the same fractal behavior (Lozano et al., JL & JJ)
 - They have similar distribution of Gaussian curvature (Wu, Wallace & JP)



X. Wu and P. Moin. J. Fluid Mech. (2009), vol. 630, pp. 5–41.

Transitional objects



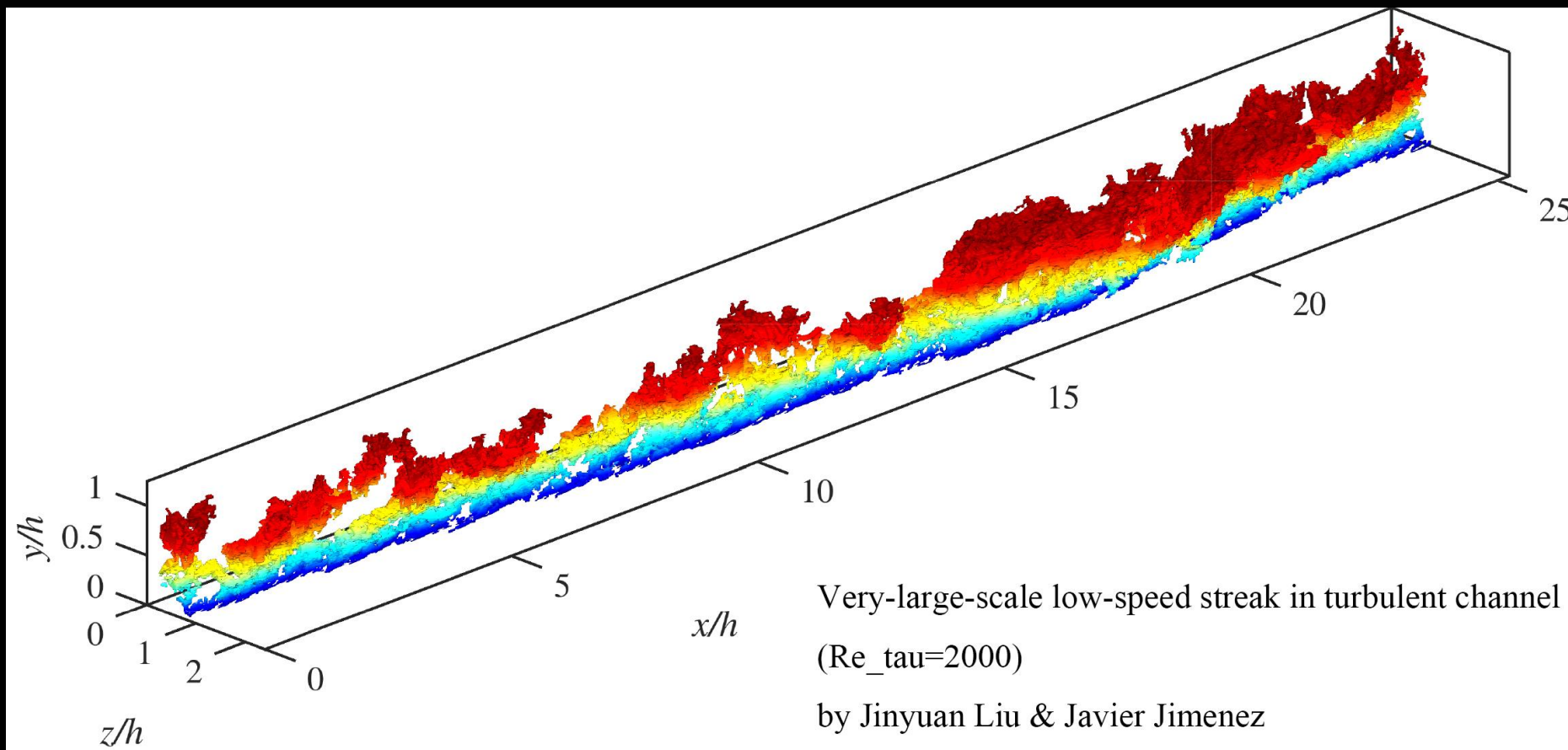
J. Liu and J. Jimenez, Technical Note

Fully turbulent objects

- 本科期间加入星火在未来看也许也是一个正确的决定

愿友谊地久天长

I LOVE SPARK 12



Super-structures with infinite length and infinite lifetime