



咖啡杯里的一座小山

本课讲 2011 年的一篇网上文章（博客）。科学家 Scott Aaronson 问了一个问题：越来越乱的世界，为什么中间会变得这么有趣？

适合 10 岁左右

约 40 分钟

需要：铅笔、一位同伴、透明杯、一盒两色棋子或纸片

1 热身：打电话画画

假设你在打电话，要让朋友画出一模一样的图。朋友看不到图，只能听你说。每张图要说几句话，朋友才能画对？



图 A

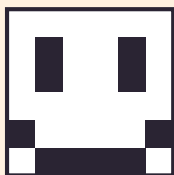


图 B

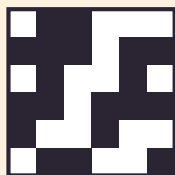


图 C

图 A：_____句

图 B：_____句

图 C：_____句

最有趣：图 _____

图 A 一句话就够：“上面 3 行白，下面 3 行黑。”图 B 要说几句：眼睛在哪儿，嘴巴在哪儿。图 C 没有规律，36 个格子只能一格一格地念。奇怪的事来了：图 C 最费话，可它**并不有趣**，只是乱。最有趣的是图 B。今天就来想想这件怪事。

2 乱的程度只会越来越大

往清水里滴一滴墨水。墨水会慢慢散开，最后整杯水都变了颜色。等一整天，它也不会自己聚回成一滴。

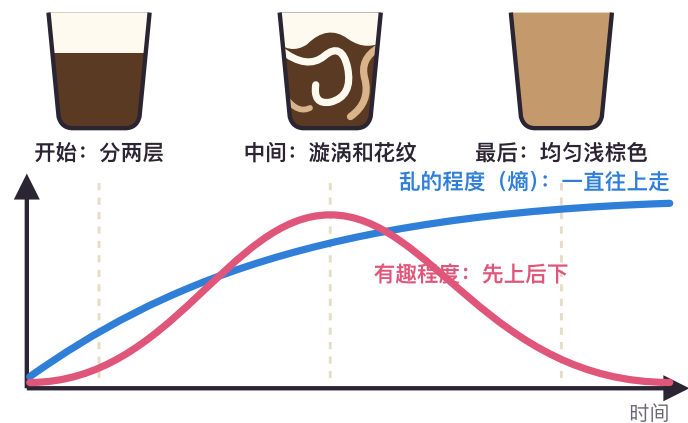
科学家把“乱的程度”叫作**熵**（shāng）。物理学里有一条很有名的规律：在一个**封闭**的地方，熵只会变大，不会自己变小。“封闭”的意思是：没有人从外面插手。

为什么总是越来越乱？10 支不同颜色的彩笔排成一排，一共有 362 万多种排法。按彩虹顺序排，只有 1 种。随手一放，几乎一定是乱的。因为**乱的排法比整齐的排法多得多**。

书包也一样。你不整理，它只会越来越乱。整理书包要花力气，这就是“从外面插手”。

3 有趣程度不一样：像一座小山

2011 年，物理学家 Sean Carroll 在一次讨论“时间”的会议上提了一个问题。Aaronson 写这篇博客来回答。问题要从一杯牛奶咖啡说起。



往黑咖啡上轻轻倒一层牛奶。**开始时**上白下黑，很简单。**过一会儿**，冒出白色的卷卷和漩涡，很复杂，很好看。**最后**整杯变成均匀的浅棕色，又简单了。

乱的程度（蓝线）一直变大。有趣程度（红线）却像一座小山：先上去，再下来。

宇宙也是这样。宇宙刚诞生时，到处差不多一样，很简单。很多科学家推测，很久很久以后，宇宙会冷下来，到处又差不多一样。现在正好在中间：有星系，有地球，还有我们。

Carroll 的问题是：“有趣程度”到底是什么？能不能给它打分，再证明它真的先变大、再变小？

4 怎么给“有趣程度”打分

还记得热身游戏吗？Aaronson 的思路和它很像：**描述一个东西要用多少话**。

- 想法 1：所有细节都要说。最后那杯咖啡，凑近看是无数个小奶滴和咖啡滴，位置全是乱的。每一滴都说清楚，要说好几辈子。所以想法 1 量出来的是“乱”，不是“有趣”。
- 想法 2：只说样子，不说乱七八糟的细节。这是 Aaronson 的思路（简化版）。最后那杯只要说：“整杯浅棕色，小滴的位置是随便的。”小滴具体在哪儿，不算分。

三杯咖啡	想法 1：连细节都说	想法 2：只说样子
开始：分两层	1 句	1 句
中间：漩涡和花纹	很多句	好几句（卷卷在哪儿、什么形状）
最后：均匀浅棕色	多得说不完	1 句

想法 2 的分数正好是一座小山！Aaronson 给它起名叫**复杂熵**。他还加了一条规矩：照着描述画图，电脑必须能很快画完。这条规矩防止有人钻空子，细节先不讲。他猜复杂熵会先变大、再变小，可是**没法证明**。这种“觉得对、还没证明”的想法，叫作**猜想**。

5 用压缩软件估一估

“描述要几句话”很难数准。Aaronson 想了个偷懒的好办法：用**压缩软件**。压缩，就是用更短的写法记下同样的东西。

试一试：把下面写得越短越好。

黑黑黑黑黑黑黑黑 → _____

黑白黑白黑白黑白 → _____

黑黑白黑白白白黑 → _____

前两行可以写成“黑×8”“黑白×4”。第三行没有规律，只能照抄。电脑里的压缩软件也这样干。有规律的图压得很小，乱的图压不小。所以**压缩后的大小**可以粗略地代表“描述要多长”。

麻烦是：直接压缩，全是乱点的最后那杯压完最大，又变回了想法 1。办法是先**眯起眼睛**看，把小细节抹掉，再压缩。



Aaronson 建议用电脑做实验：在格子图上，黑格子是咖啡，白格子是牛奶。每一步随机挑两个挨着、颜色不同的格子，让它们换位置。每隔一会儿，就“眯眼再压缩”一次，看大小怎么变。

写博客时，大学生 Lauren Ouellette 已经开始和他做这个实验。2014 年，他们和 Carroll 写成论文“咖啡自动机”。结果怎么样？下一课揭晓。

6 这和今天有什么关系

我们正活在“中间那段”。宇宙、地球、生命，都处在最有趣的那段时间。宇宙要是一锅均匀的汤，就不会有星星，也不会有你。

聊天 AI 要学的也是“样子”。ChatGPT、Claude 这些聊天 AI 读过海量的文字。好的 AI 不是把每个字背下来，而是学会规律：句子怎么组成，故事怎么展开。这很像想法 2：记规律，不记乱细节。

要说清楚：这篇博客没有造出任何 AI，它留下的是一个好问题。“有趣程度”该怎么定义，科学家到今天还没有完全想明白。

7 动手：一杯水里的小山

玩法（2 个人，约 15 分钟）

准备：透明杯装大半杯凉水，食用色素或牛奶，1 把勺子。不要用热咖啡，小心烫。没有材料时，可以画第 3 节的三杯咖啡来玩。

- 1. A 往水面轻轻滴 2 滴色素（或倒 1 小勺牛奶），不要搅动。
- 2. 在 3 个时刻各画一张图：刚滴进去、等 1 分钟、搅拌 10 圈以后。
- 3. B 背过身。A 看着画描述，B 照着画。只说样子，不说每一小点。记下用了几句话。

	刚滴进去	等 1 分钟	搅拌以后
画下来			
用了几句话			

你会发现：中间那张最难描述，也最好看。开始和最后只要一两句话。

8 动手：摇盒子混合实验

玩法（2-3 个人，约 15 分钟）

准备：带盖的透明盒子，黑白围棋子各 30 颗（或两色纸片），两种必须大小一样。

- 1. 盒子平放，白的铺左半边，黑的铺右半边，盖好。
- 2. 轻轻左右摇几下，从上往下看，画草图。一起打“乱的分”和“有趣分”（1-5 分）。

一共摇了	0 下	2 下	5 下	10 下	50 下
草图					
乱的分					
有趣分					

你会发现：“乱的分”一路往上涨，“有趣分”先涨后跌。

9 词语小卡片

熵

乱的程度。没人插手时，它只会变大，不会自己变小。

有趣程度（复杂程度）

只说样子、不说乱细节时，描述要用多少话。

压缩

用更短的写法记下同样的东西。有规律的压得小，乱的压不小。

猜想

觉得对、但还没有证明的想法。Aaronson 的“小山”就是猜想。

10 想一想

1. 书包会自己变乱，却不会自己变整齐。用第 2 节“排法”的道理说一说为什么。

2. 一张白纸、一张乱涂的纸、一幅画，哪个最有趣？用“描述要几句话”说说你的理由。

3. 还有什么东西也是先变有趣、再变无聊？举一个例子，画出它的三个样子。

一句话记住：乱的程度一路往上走，有趣程度却像一座小山。

给家长和老师：本课讲的是 Scott Aaronson 2011 年的博文 [The First Law of Complexodynamics](#)。文章回应 Sean Carroll 的问题：熵单调上升，复杂度为什么先升后降。Aaronson 指出 Kolmogorov 复杂度只度量随机性，精巧度 (sophistication) 又因“初始状态 + 步数”的捷径而始终很小，于是提出加入计算时间限制的“复杂熵” (complextropy)，猜想它先升后降，并建议用咖啡混合模拟和 gzip 压缩大小检验。后续论文 The Coffee Automaton (2014) 即第 7 天。

讲义做了简化：“只说样子”对应精巧度的两部分描述，“电脑要很快画完”对应时间限制，“眯眼看”对应粗粒化。三杯咖啡图、两条曲线、热身格子图、“几句话”表格都是示意，不是实测数据；乱点图由程序随机生成。“362 万多种”是 10 支笔的全排列数 (3,628,800)。动手活动写的是一般结果，每次可能不同。想深入可看本站的 [第 6 天中文导读](#)，代码见开源项目 [30u30 第 6 天目录](#) (英文)。