

2022 年秋季学期自然辩证法

课  
程  
论  
文

论文题目：狂热的追求

作者：李懿轩

# 目录

摘要.....	3
Abstract.....	3
第一章 早年岁月.....	4
第二章 DNA 双螺旋.....	7
第三章 分子生物学.....	9
第一节 遗传密码的发现、tRNA 的发现.....	9
第二节 mRNA 的发现.....	9
第三节 中心法则.....	10
第四节 分子生物学的其它里程碑.....	11
第五节 物理 vs 生物.....	11
第四章 神经生物学.....	13
参考文献.....	15

## 摘要

弗朗西斯·克里克是有史以来最伟大的生物学家之一。在他的自传《狂热的追求》中，他从自己的早年岁月写起，忠实地记录了自己参加二战、来到卡文迪许实验室、发现 DNA 双螺旋、发现遗传密码、发现 tRNA、发现 mRNA、提出中心法则以及晚年转行神经生物学的故事。同时，他写下了自己对于物理学、生物学的区分的思考。从这本书中，我们可以了解到何为科学、何为狂热、何为追求。

关键词：克里克；DNA 双螺旋；遗传密码；自我复制；意识

## Abstract

Francis Crick is one of the greatest biologists of all time. In his auto-biography, *What Mad Pursuit*, Starting from his early years, he faithfully wrote the story of his participation in World War II, coming to Cavendish, discovering the DNA double helix, discovering the genetic code, discovering tRNA, discovering mRNA, proposing the idea of the central dogma and transitioning to neuro-biology in his later years. At the same time, he wrote his own reflections on the difference between physics and biology. From this book, We can learn what is science, what is madness and what is pursuit.

Keywords: Crick; DNA double helix; genetic code; self-replication; consciousness.

# 第一章 早年岁月

1916年，第一次世界大战期间，克里克出生在英国北安普敦镇。他的父亲和母亲均为中产阶级。当时，北安普敦的支柱产业是皮革加工，包括制造鞋子、靴子。克里克的爷爷开了一家皮鞋工厂，他的父亲和伯父便继承下来。

克里克出生在家里而不是医院。她的母亲在克里克出生后安排了一场特别的活动——她让自己的姐妹把刚出生的克里克抱到房顶的最高处，因为她相信这个小小的仪式会帮助克里克日后出人头地。除此之外，克里克的母亲坚持要求每年1月1日，第一个走进房子的人必须是黑色头发，而不是金色头发，因为她相信这会给新的一年带来好运。

克里克还记得他第一次得奖的经历：小学时，学校组织采野花比赛，克里克摘回的野花种类比其它小朋友多得多。因为其他人都住在城市，而克里克住在乡下。克里克心中有一丝小小的罪恶感，但他还是接受了奖品——一本有关食虫花的书。

体育上，克里克一家都喜欢打网球。克里克的父亲甚至打过一次温布尔登公开赛。那天早晨母亲叫醒他，跟他说他今天不用上学了，一家人要去温布尔登看父亲打球，克里克乐坏了。克里克曾对网球极其狂热，他和弟弟曾经在当地网球场外等上几个小时，希望有一家场地可以让他们打球。

中学时，克里克接触到了孟德尔遗传学，但他回忆说应该是他自学的。

和我们一样，18岁那年，克里克进入了大学。他本科就读于著名的伦敦大学学院(University College London, UCL)。UCL的物理课还不错，但是有些落伍。他在量子力学这门课里学的还是波尔的理论，只有最后几次课对海森伯、薛定谔、狄拉克的理论进行了简单介绍。

物理学自那之后发生了翻天覆地的变化，量子电动力学、夸克、超弦，但克里克对这些新东西的知识就局限在《科学美国人》水平了。

二战之后，克里克曾自学过量子力学，但是从来没用过。

1938年，22岁的克里克本科毕业。克里克循规蹈矩地开始了研究生生涯。他的第一任导师叫Edward Andrade，他安排克里克去测水在100°C-150°C下的粘度。在师兄Leonard Walden的帮助下，克里克做了一个复杂的球形铜质容器。

这个工作很无聊，但克里克还是感到开心，毕竟，上了这么多年学之后，他终于开始干点属于自己的事情了。

如果事情就这么继续下去，克里克日后可能会成为一个普普通通的实验物理学家，而不会跑去搞生物，也没有那些激动人心的发现：DNA双螺旋、中心法则、遗传密码。

但是，命运和克里克开了一个玩笑：1939年，德军闪击波兰，英法对德宣战。包括阿兰·图灵、霍奇金、赫胥黎在内的许多科学家被调入英国军方，而克里克也被调入英国海军的研究实验室。

二战期间，一次炸弹爆炸，把克里克在UCL的实验室和他的球形容容器炸毁了。克里克很高兴，他再也不用回去测水的粘度了。

克里克在海军部的工作是设计和制造磁学感应水雷和声学感应水雷。他的上司是数学家Harrie Massey。飞机将这些水雷空投到波罗的海的德国军舰可能通过的浅水域，随后它们便悄无声息地等待某艘可怜的德国军舰经过。这种水雷的关键在于区分扫雷舰和军舰发出的磁场和声音，炸后者而不炸前者。克里

克得意洋洋地写道：他设计的水雷比之前的水雷效率高5倍；战后估计，他的水雷炸毁的德国船有几千艘。

战争结束后，克里克陷入了深深的迷茫。英国海军部给了克里克一份作为科学顾问的永久工作，类似于公务员，但是克里克并不想一直造武器，他想回去搞科研，但是他审视了一下自己：他已经29岁了，且只有1年研究经历，且从来没有发表过论文。“在这种情况下，我真的还适合搞科研吗？”，克里克问自己。

克里克没有自己内耗，而去咨询了朋友们的建议。有人认为克里克更适合去搞科普，建议他加盟《自然》杂志；克里克咨询了他的同事，他的前辈，数学家Edward Collingwood，他认为克里克在科学一定会成功；克里克还去问了Collingwood的学生Georg Kreisel，他比克里克小，两个人是好哥们。他考虑了半晌，说：“我见过不少比你更笨的人，他们做科研都很成功。”（不知几十年后Kreisel回忆起这段话会作何感想）

在内心的狂热和朋友们的鼓励下，克里克决定重返科学界。

克里克面临的下一个问题是——他究竟喜欢研究什么东西呢？

克里克发明了一种他称之为闲聊测试(Gossip Test)的方法，用来检测出他真正感兴趣的東西。

克里克经常和海军部的同事们聊天，他们对科学也感兴趣，但是知道的比克里克还少。一天，克里克和他们聊到抗生素的最新进展（青霉素）时，兴致高涨，妙语连珠。那天晚上，克里克突然意识到，自己对抗生素的了解完全来自于科普杂志甚至半科普杂志，他对抗生素几乎毫不了解。于是克里克意识到，他白天并不是在讨论科学，而是在闲聊科学。

克里克把这称之为闲聊测试：你真正感兴趣的東西就是你整天闲聊的那些東西。

用这种方法，克里克很快发现自己的兴趣在于2个问题：1，生命和非生命的边界在哪里？；2，大脑的工作机制是什么？。

这两个问题蕴含着两个重大的奥秘：生命的奥秘和意识的奥秘。用今天的话说，前者属于分子生物学，后者属于神经生物学。

克里克决定投入第一个问题——生命和非生命的边界，因为以他的背景，第一个比第二个容易一些。

这时，一个意外发生了，一位名气很大的生理学家，Hamilton Hartridge，给克里克发出了一份工作邀请。抱着试一试的心态，克里克去和Hartridge聊了聊，见面很顺利，Hartridge同意给克里克这份工作。他认为人的眼睛里有7种视锥细胞，而不是当时认为的3种，想让克里克去研究一下这个问题。

克里克犹豫了，一周前他刚刚决定要去研究生命和非生命的边界，但现在却收到了一份永久工作。但最后克里克坚持了最初的想法，拒绝了Hartridge。时间证明，这是一个正确的抉择。

接下来，克里克去找昔日的上司，Massey，请求他的帮助。Massey为克里克引荐了两个人：Archibald Hill和Maurice Wilkins。

Hill在科学上最大的贡献是从热力学角度研究肌肉的收缩。他很赞赏克里克想成为生物物理学家的想法，并且想把他拉来一起研究肌肉(事实上，克里克去拜访的每一个人几乎都想把他拉来自己的研究领域)。Hill又为克里克引荐了Edward Mellanby，后者是医学研究中心(MRC)的主任，手上有很多经费。值得一提的是，希尔第一个提出了最大摄氧量(maximal oxygen uptake)的概

念，这个概念对有氧运动非常重要。希尔本人很爱跑步，他曾经拿自己做过一些实验。

Wilkins和Massey曾经一起在曼哈顿计划中分离同位素。这次拜访，让克里克和Wilkins结下了深厚的友谊。日后，Wilkins将成为发现DNA双螺旋结构的四人之一。

在先后拜访了Hill, Mellanby, Wilkins等人之后，克里克最终来到了剑桥的Strangeways实验室。这里刚好有一个物理学家去世了，克里克便接替了他的位置。

克里克在Strangeways呆了2年，研究了细胞质基质的磁学性质。克里克对这个工作并不是特别感兴趣，但相比于Hartridge的视锥细胞，这个工作起码和生命和非生命的边界沾点边。克里克在这里发表了人生中的头两篇论文。这项工作的另一个好处是，它们不是特别费时，克里克有大把的时间来阅读自己感兴趣的领域。

两年之后，克里克向MRC主任Mellanby汇报工作，毕竟后者给他钱。克里克告诉他，他研究了细胞质基质的物理性质，并且他花了很多时间在自学。Mellanby哦了一声，有些将信将疑，问克里克：“胰腺有什么功能？”克里克顿时像小学生一样紧张，回答道：“它可以分泌用于消化的酶。”Mellanby似乎很满意。

这次，命运女神眷顾了克里克。Mellanby的桌子上放着一份文件，事关在卡文迪许实验室建立MRC研究中心，用X射线晶体衍射来研究蛋白质的结构和功能。这项研究将由Max Perutz领衔，由卡文迪许实验室主任、史上最年轻的诺奖得主小布拉格担任总指挥。Mellanby问克里克对此事有何看法。克里克瞬间发现这个研究更接近生命和非生命的边界，便说自己很想加入。Mellanby同意了，于是克里克便来到了卡文迪许。

在这里，他将拿到他的博士学位。

在这里，他将遇到吉米·沃森。

在这里，他将开启属于他的传奇。

## 第二章 DNA 双螺旋

二战之后，伦敦大学国王学院的莫里斯·威尔金斯拍到了几张很好的DNA的X射线衍射图片。于是，1950年，他的老板约翰·兰道尔雇佣了一名有经验的X射线衍射学家，罗莎琳德·富兰克林，来帮助一起解析DNA的结构。不幸的是，威尔金斯和富兰克林工作上很合不来。

1951年，23岁的詹姆斯·沃森，作为访问学者来到了卡文迪许实验室。他一门心思想发现孟德尔、摩尔根所说的基因的实体到底是什么。

沃森和克里克同样地年少轻狂、口无遮拦。他们总在一块讨论问题。一天，佩鲁兹和肯德鲁搓着手向大家宣布，他们决定把一间小屋子分给沃森和克里克，这样他俩聊天的时候就不会打扰到大家了。

最开始，沃森和克里克认为1个碱基有好几种异构体，这让问题变得很复杂。后来，他们实验室的一位美国晶体学家Jerry Donohue告诉他们：在化学溶液中确实如此，但是在DNA中1个碱基几乎只有1种构型。

核心发现是——沃森坚定地认为A和T配对，G和C配对。他的这个结论不是基于逻辑推理，只是一种猜测。

坚持AT配对、GC配对之后，搭建模型就容易多了。

1953年上半年，沃森和克里克写了4篇论文探讨DNA的结构和功能。第一篇于1953年04月25日发表于 *Nature*。这篇文章非常谨慎，仅仅提出了双螺旋的结构，没有猜测任何功能 (Waston & Crick, Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid, 1953)。5周之后，1953年5月30日，两人在 *Nature*发表了第二篇论文，讨论了双螺旋的遗传学功能 (Waston & Crick, Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid, 1953)。

克里克本想在第一篇论文中就详细解释双螺旋的遗传学意义，但是沃森表示反对。他担心万一这个结构搞错了，他就搞大笑话了。之所以在5周之内就改弦更张，是因为同一期的 *Nature*发表了威尔金斯的文章和富兰克林的文章（这是兰道尔斡旋的结果），沃森、克里克高兴地发现伦敦的竞争者的X射线图竟然如此强烈地支持他们的双螺旋结构。

1953年，在Max Delbruck的支持下，沃森、克里克的论文的复印本被发给了参见冷泉港年度学术会议的每一个人，并且沃森受邀做报告。双螺旋于是名动天下。沃森、克里克受到的关注远远超过艾弗里，更远远超出可怜的孟德尔。

1954年夏天，Sydney Brenner在牛津大学拿到博士学位，他随后成了沃森、克里克在冷泉港的代言人。1957年，布伦纳来到剑桥，成为了克里克最亲密的搭档，他们共用一个实验室长达20载，直到1976年克里克转行去神经科学。

科学上，对于双螺旋仍有争议。碱基互补配对、反向平行，这两点很快被生物化学家验证了。但是有些人提出，DNA应该是平行结构（即2条平行线），而不是双螺旋结构。这个观点最早由Gamow提出。1970s，还有两个小组支持这个观点。后来，有人用环绕数说明，平行结构是错的，双螺旋结构是对的。

20世纪50年代早期，剑桥有一个规模不大且十分隐秘的生物物理学家俱乐部，名为哈代俱乐部。时至今日，当时的俱乐部成员已经有很多诺奖得主和皇家学会会员。但是，当时他们都相当年轻，默默无闻，只有一个FRS——Alan Hodgkin。有一次，哈代俱乐部聚会，沃森本来要做和双螺旋有关的演讲，但他不幸喝高了，什么话也说不出来。他指着双螺旋，结结巴巴地说：它多美啊，

看，它多美啊。



## 第三章 分子生物学

### 第一节 遗传密码的发现、tRNA的发现

双螺旋模型强烈地暗示我们——遗传信息隐藏在4种类型的碱基对里。

当时已经知道：DNA在细胞核里；蛋白质合成应该在细胞质里；细胞质里有RNA没有DNA。

以上三点暗示我们遗传信息从DNA流到RNA，再从RNA流到蛋白质。

很容易猜出DNA如何产生RNA，但从RNA如何产生蛋白质，当时一无所知。当时并不知道mRNA、tRNA的存在，只知道rRNA的存在。

1953年夏天，沃森、克里克收到了一封来自美国的信，作者是大名鼎鼎的物理学家、宇宙学家George Gamow，宇宙大爆炸理论的提出者。

Gamow大胆地假设，DNA上有20种凹陷，恰好对应着20种氨基酸。

沃森和克里克思考了一下，拒绝了第一点，接受了第二点。伽莫夫给出了自己认为20种氨基酸，兄弟俩一眼就看出其中几个很扯淡。两人把当时已经发现的所有氨基酸分成标准组和例外组。标准组的定义是在许多不同的蛋白质中都出现，例外组的定义是非标准组。比如说，bromo-tyrosine和diaminopimelic acid就属于例外组。最后，兄弟俩恰好得到了20种氨基酸。

1954年暑假，沃森、克里克、伽莫夫一起度过。伽莫夫成立了一个神秘组织——RNA领带俱乐部。总共有20位成员，每一个成员代表一个氨基酸。克里克拿到的是色氨酸。很有钱的伽莫夫还送给每个成员一个领带。

三人认为遗传密码是三联体，因为二联体只有16种，不足以对应20种氨基酸，于是他们只好先假设遗传密码是三联的，这样有64种密码子，可以对应64个氨基酸。如果这假设不对，他们还要试试四联、五联。

本泽、布伦纳、克里克用T4噬菌体做实验，证明了遗传密码是三联体。随后，Marshall Nirenberg等生物化学家破译了整个遗传密码表。(Nirenberg, 1964)

克里克提出，翻译时，会有一种“接头”，接头一端和mRNA形成氢键（mRNA在tRNA之后才被发现，这里是假想的），另一端在酶的催化下和一个氨基酸形成化学键。

“接头”不久就被美国生物化学家Mahlon Hoagland发现。现在高中生都知道，接头就是tRNA。

### 第二节 mRNA的发现

沃森喊出过一句著名的口号：DNA makes RNA makes protein. 用高中生的话说，叫复制、转录、翻译。

然而，这个理论中间有缺失的一环——当时还没有人发现过mRNA。沃森、克里克、布伦纳把这种暂未发现的RNA成为messenger RNA。

20世纪50年代后期，人们已经发现了核糖体，并且知道核糖体由RNA和蛋白质组成。

克里克和布伦纳很自然地想到，核糖体就是mRNA。如果是这样的话，那么1种蛋白质就应该对应1种核糖体。然而，实验上却有两个费解的点：第一，按此假设，核糖体的质量应该不同，然而实验上却发现核糖体只有两种质量；第二，按此假设，核糖体的碱基组成差别应该很大，然而实验上发现核糖体的

碱基组成差别不大。

克里克和布伦纳感到十分困惑，说不出所以然来。

这时，法国巴斯德研究所的三位学者，Pardee, Jacob, Monod做了一个名为PaJaMo的实验。实验的物理图像是：把一个基因，比如 $\beta$ -半乳糖苷酶基因，引入一个细胞。(Pardee, Jacob, & Monod, 1960)

若假设核糖体就是mRNA，那么新基因会产生自己的核糖体，核糖体会慢慢累积，然后蛋白质的合成速度才能越来越快并随后达到饱和。

然而，PaJaMo实验发现，新基因刚刚加入不久，蛋白质就开始合成，并且合成速度一下子就特别快，几乎没有加速过程，且保持恒定。也就是说，没有核糖体慢慢累积的过程。除非核糖体产生得特别快，否则该假设不可能是对的。

一开始，克里克和布伦纳并不相信这个实验的结果。1960年的耶稣受难日，Jacob来到剑桥访问，几个人在教学楼里会面。克里克上来就问实验的各种详细信息，Jacob一一解释。慢慢地，克里克意识到，他们的实验是正确的，自己必须接受事实，核糖体不可能是mRNA。

布伦纳大喊了一声，猜到了答案：有另一种新的RNA，而核糖体只是一种惰性的阅读探头，不需要含有任何遗传信息，一个核糖体只需要沿着这种新RNA走就可以了。PaJaMo实验也因此得到了解释，新基因产生了mRNA，mRNA可以直接用原来的核糖体，因此蛋白质合成速度才能一下子特别快，没有加速过程。

这是分子生物学历史上一件惊天动地的大事，克里克说，他至今仍然记得布伦纳、雅各布、自己在那间屋子里坐的位置。在那个耶稣受难日的早晨，仿佛命中注定一般，mRNA被发现了。

随后，布伦纳访问了Caltech，和雅各布等人一起完成了后续工作。

### 第三节 中心法则

1957年，克里克在一篇文章中提出了著名的the central dogma（中心法则）。这现在是每个高中生必修的内容。

克里克写道：once 'information' has passed into protein it cannot get out again. 即：一旦信息流到了蛋白质，它再也不能流动了。

把DNA、RNA、protein画成正三角形（正三角形中，每个顶点的地位是相等的），中心法则如下：(Crick F., 1970)

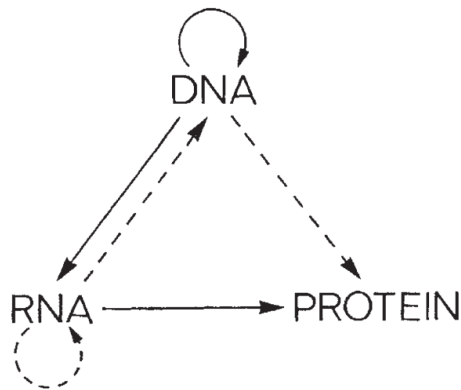


Fig. 3. A tentative classification for the present day. Solid arrows show general transfers; dotted arrows show special transfers. Again, the absent arrows are the undetected transfers specified by the central dogma.

三条实线代表三种常见的路径。

三条虚线代表三种罕见的路径（1988年，学者们已经知道这三种路径都会存在：HIV这样的逆转录病毒可以由RNA合成DNA，部分RNA病毒可以由RNA合成RNA，在体外可以由DNA合成protein）。

另外三条线暂时不存在。

在1988年之后（本书成书于1988年），唯一的例外是Prion（中文翻译为朊病毒或者朊毒体），它似乎可以由protein合成protein。

## 第四节 分子生物学的其它里程碑

1966年，冷泉港实验室的年会主题是遗传密码，这标志着经典分子生物学的落幕。对遗传密码的精确分析表明，分子生物学的基本思想，全部正确。

当1947年，克里克决定从物理转行到生物时，没有任何人能想到，在20年之内，和遗传学相关的重大问题全都解决了：1953年，人们发现了DNA双螺旋；1955年，人们发现了遗传密码、tRNA；1960年，人们发现了mRNA

当然，并非所有问题都解决了。1966年时，关于真核生物的基因调控，人们一无所知，关于核糖体，人们也一无所知。尽管如此，1966年时，分子生物学的框架（Crick dogma）的确建立了，之后的确只是在这个框架上补充信息。之后的重大发现如下：

**逆转录病毒：**Howard Temin等三人首次发现了一种RNA病毒，它们转录成DNA，然后嵌入到宿主的DNA上。

**内含子：**Walter Gilbert提出了内含子(intron)、外显子(exon)的概念。最初的定义是，真核生物的DNA上，有些序列能转录翻译出蛋白质，被称为exon，有些序列不能转录翻译出蛋白质，被称为intron。

**转座子：**1960s-1970s, Barbara McClintock的转座子理论终于得到认可。转座子是一些可以在DNA上跳来跳去的DNA片段。克里克认为，转座子是寄生的DNA。（Oregel & Crick, 1980）

## 第五节 物理vs生物

克里克认为，物理学和生物学的核心区别在于——前者没有自然选择，后

者有自然选择。虽然星系、岩石也会演化，但是却没有某种结构的自我复制。虽然许多行星的元素组成差不多、岩石中的许多晶体也具有基本一致的结构，但是却不像生物中一样，有完全一模一样的复制。这些复制就是自然选择的结果。

自然选择的结果不一定遵守奥卡姆剃刀原则。克里克认为，奥卡姆剃刀原则（两个模型差不多时，选更简单的那个模型）在物理中很有用，但在生物中很可能有害，因为我们不知道生命在几十亿年前遇到了什么样的环境压力，简单、优美的生物不一定会存活下来，只有更适合环境的生物才能存活下来。很多人都觉得DNA双螺旋很美，但是别忘了DNA出现在进化的早期，那时候自然界还很简单。

## 第四章 神经生物学

Your joys and your sorrows, your memories and your ambitions, your sense of personal identity and free will, are in fact no more than the behavior of a vast assembly of nerve cells...—Crick (1994, *The astonishing hypothesis: The scientific search for the soul.*) (Crick & Clark, 1994)

正如上一段话所展示的，克里克本人认为，意识只不过是一大堆神经元的活动。

1976年，克里克和奥黛尔来到了加州的索尔克研究所。索尔克是一位杰出的、功德无量的生物学家，他研究了许多疫苗，包括乙肝疫苗。

克里克决定自己的long-term interest是意识。但他也知道直接从意识入手太傻了。我自己有意识，我有充分的理由认为你也有意识，但是果蝇、线虫有没有意识就是一个open question。

克里克的第一个难题是选择研究哪种生物。他的好友Sydney Brenner和Seymour Benzer分别选择了*C.elegans*和*Drosophila*，继续做分子生物学。克里克认为，哺乳动物、灵长类，更贴合他的长期目标。

克里克的第二个难题是选择研究脑的哪个方面。克里克选了视觉系统，一是因为在各种感觉里人、猴子最依靠视觉，二是因为在各种感觉里视觉被研究的相对最透彻。

David Marr，计算神经科学之父，在剑桥大学获得博士学位，在此期间他结识了卡文迪许实验室的布伦纳和克里克。随后，他来到了MIT当教授。

Tomasio Poggio，Marr的学生之一，在Max Plank Institute工作。

1979年4月，克里克邀请Marr和Poggio到索尔克研究所讨论视觉。三人经常在咖啡厅或者克里克的办公室聊上n个小时，俯视着风光旖旎的太平洋东海岸。三人不仅讨论视觉，也讨论整个大脑的功能。

Marr写过一本著名教科书，*Vision*。其中，Marr用对话的方式撰写它的最后一章。书中没有写对话者是谁，但是据克里克的一篇讣告的作者所写，对话者就是弗朗西斯·克里克。(Siegel & Edward, 2004)

1978年冬天，Marr已经被诊断出白血病。1980年，Marr逝世，年仅35岁。他是克里克见证的第二位英年早逝的科学家，上一位是37岁去世的Rosalind Franklin。

在索尔克研究所，克里克的门永远敞开，研究生、博士后、特任教授、教授都可去找他讨论问题。Christof Koch就是其中一员。Koch是Poggio的博士后，他和克里克都对意识感兴趣。两人一起撰写过许多篇文章。

克里克十分希望把分子生物学的工具用到神经生物学中。

2000年之后，新的工具快速地涌现，至少部分来自克里克的贡献以及他对初级学者的支持。克里克指出，我们必须一边精准地扰动系统的某个组成部分，一边精准地观察系统的表现。克里克逝世后一年，光遗传学诞生，部分实现了他的愿望。

2001年，克里克被诊断出大肠癌，他知道自己已经时日无多，恐怕没有时间研究清楚意识了。2003年，他和Koch一起写了一篇文章，*A framework for consciousness.* (Crick & Koch, 2003)

在克里克生命的最后几周，他转去研究屏状体(claustrum)，研究它的起源，它的分子生物学，它的神经生物学，它对意识的影响。奥黛尔一直陪伴在他的

身边，他们已经在一起55年。

最后，我想用克里克的讣告中的最后一段话结束本文：

Francis had existed between the alpha of DNA and the Omega of consciousness, and for a man who never believed in the afterlife, he had indeed achieved immortality.

## 参考文献

- Crick, Francis, and Christof Koch. "A framework for consciousness." *Nature neuroscience* 6.2 (2003): 119-126.
- Crick, Francis, and J. Clark. "The astonishing hypothesis." *Journal of Consciousness Studies* 1.1 (1994): 10-16.
- Crick, Francis. "Central dogma of molecular biology." *Nature* 227.5258 (1970): 561-563.
- Nirenberg, Marshall, and Philip Leder. "RNA Codewords and Protein Synthesis: The Effect of Trinucleotides upon the Binding of sRNA to Ribosomes." *Science* 145.3639 (1964): 1399-1407.
- Orgel, Leslie E., and Francis HC Crick. "Selfish DNA: the ultimate parasite." *Nature* 284.5757 (1980): 604-607.
- Pardee, Arthur B., François Jacob, and Jacques Monod. "The genetic control and cytoplasmic expression of "inducibility" in the synthesis of  $\beta$ -galactosidase by *E. coli*." *Journal of Molecular Biology* 1.2 (1959): 165-178.
- Siegel, Ralph M., and Edward M. Callaway. "Francis Crick's Legacy for Neuroscience: Between the  $\alpha$  and the  $\Omega$ ." (2004): e419.
- Watson, James D., and Francis HC Crick. "Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid." *Nature* 171.4361 (1953): 964-967.
- Watson, James D., and Francis HC Crick. "Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid." *Nature* 171.4356 (1953): 737-738.