

自然辩证法研究参考资料丛刊

坂田昌一  
物理学方法论论文集

[日]坂田昌一著  
《自然辩证法研究通讯》编辑部编

内部读物



商务印书馆

No2  
B57

000120

自然辩证法研究参考资料丛刊

## 坂田昌一物理学方法论论文集

〔日〕 坂 田 昌 一 著

《自然辩证法研究通讯》编辑部编

~~~~~  
本书是供内部参考用的，写  
文章引用时务请核对原文，  
并在注明出处时用原著版本。  
~~~~~

P. 196

0.85  
—

商 务 印 书 馆

1966年·北京

## 内部读物

自然辩证法研究参考资料丛刊  
坂田昌一物理学方法论论文集  
〔日〕坂田昌一著  
《自然辩证法研究通讯》编辑部编

---

商务印书馆出版

北京复兴门外翠明庄

(北京市书刊出版业营业登记证出字第107号)

京华印书局印装

统一书号：2017·166

---

1966年5月初版

开本 850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>

1966年5月北京第1次印刷

字数 144千字

印张 6<sup>4</sup>/<sub>16</sub>

印数 1—1,200册

定价(9) 0.85元

## 編者說明

本集选入了著名日本理论物理学家坂田昌一在1946—1965年期间有关物理学方法论等哲学问题的文章，主要取材于他的两本论文集《物理学与方法》(岩波书店，1953年版)、《科学与和平的创造》(岩波书店，1963年版)。附录两篇，有助于了解他的社会政治观点。

从这本论文集的论文中，我们可以看出：坂田昌一长期注意运用唯物辩证法来考察和总结物理学发展中的历史经验，并用以指导自己的科学研究工作；他反复地批判了以哥本哈根学派为代表的实证主义思潮及其对物理学发展的祸害，阐述了物质的无限可分性和自然科学理论无限发展的思想；坂田在自然观方面基本上是唯物辩证法的，但在社会观方面仍然没有摆脱唯心史观，在战争与和平的问题上还没有摆脱资产阶级和平主义观点。

出版这本论文集的目的，是为自然辩证法研究者、科学工作者和哲学工作者提供资料，供讨论研究之用。

文集的编选曾得到黄友谋同志的热情协助。

本书在选材、翻译和编辑等方面，可能有不少缺点，敬希读者指正。

《自然辩证法研究通讯》编辑部

1966年1月

## 目 录

理论物理学和自然辩证法·····	1
原子物理学的发展及其方法·····	20
汤川理论发展的背景·····	37
汤川理论发展的道路·····	45
基本粒子论的方法·····	60
基本粒子论的现阶段·····	66
基本粒子的结构·····	74
基本粒子论的新发展·····	76
基本粒子论的方向·····	81
关于量子力学的解释·····	86
新基本粒子观对话·····	102
基本粒子论的哲学问题·····	120
基本粒子论和哲学·····	134
附录	
争取学术和思想自由·····	143
现代科学、技术在人类史上的意义·····	155
日西汉人名对照表·····	173
日西汉术语对照表·····	181

## 理論物理学和自然辯証法\*

—

我国的理论物理学由于汤川秀树博士的光辉的业绩而驰名世界。在一个封建性长期保存着的恶劣的社会里，基本粒子论是什么能自由地发展的呢？伦敦大学的贝尔纳博士在他于第二次世界大战爆发前不久出版的著作中对日本的科学提出了如下的批评和希望：“日本人的工作大部分都是过份地拘泥，形而上学的，缺乏想像力，而且很不幸多半是不加批判的，不正确的。然而用这样的话批评日本的科学家是不公正的。在一个‘危险思想’日益受到残酷迫害的国家里，对科学的独创性说来并不那么有利。科学被应用在军事研究的目的和寻找维持工厂工人的生存所必需的粮食的最低数量时，就没有办法吸引最优秀的头脑去完成最杰出的工作。最近，对于这个官僚的军事的科学，正不断掀起激烈的反抗，尽管是地下的。日本的青年科学家们开始意识到他们的工作的社会意义了。他们的思想已经不受神道或它的更激烈的近代形式——皇道那种帝国主义、军国主义的神话的束缚了。如果和西方一样，在东方也爆发革命，日本人有获得和平和自由的一天，那么可以期望，在那里科学研究的质量将大大地得到改善。”[1]

汤川理论的发展的确是偶然的，是幸运的。或许有人会说，对于像理论物理学这样以思考力为主的科学来说，社会的制约恐怕不是很大的吧。但是，德国的纳粹党不是表明了即便是现代科学

---

\* 本文写于1947年6月2日，原载《潮流》杂志1947年9—10月号，现收载于《物理学与方法》（岩波书店，1953年）一书中。

的核心部分也可能遭到迷信和野蛮行为的冒犯吗？如果不是自觉地力图摆脱神话的世界观和偏狭的思想方法，那么我国的理论物理学也将要走上悲惨的道路。

近几年来，理论物理学经历了瞬息万变的急剧发展，可以说在这半个世纪里所取得的成果确实远远超过了过去几个世纪的发展。曾经被认为不可动摇的牛顿和麦克斯韦的物理学世界，由于相对论和量子力学的出现被推翻了。以不变的元素和不可分的原子为基础的形而上学的物质观，也发生了根本的变革。在大多数物理学家还没有充分消化新理论的时候，物理学的尖端又深入到原子核的内部，开始展开了基本粒子论的研究。宇宙线的本质也就要弄清楚了。在这样一个空前未有的变革时期里，甚至连曾经完成过伟大事业的科学家也跟不上新的发展了。即使发现量子论的线索的普朗克和建立相对论的爱因斯坦也没有能够正确地理解量子力学的基础。感到自己信念的基础发生动摇的物理学家们，开始关心哲学问题，讨论起“科学的任务”、“外界的实在性”、“因果性问题”等等来了。他们力图掌握一种即使面临变革时期也不会丧失信心的世界观和对自己的研究有效的方法论。但是，这并不是件容易的事情。因为正如人们所说，哲学是有党派性的，是一门极强烈地受社会的制约的学问。特别是，这一变革时期并不仅仅袭击了物理学的世界。在本世纪中，第一次世界大战、俄国革命、经济恐慌，法西斯主义国家的兴起、第二次世界大战等等巨大的变动，一再震撼了全世界。物理学家虽然从这些事件直接受到了很大的影响，可是从反映社会不安的哲学、指导俄国革命的哲学、企图使法西斯意识形态合法化的哲学等也受到了不少间接的影响。

物理学家最初加强对哲学的关心，是在从镭和电子等的发现

第一次动摇了经典物理学理论基础的十九世纪末期到二十世纪初期这个时代。正如彭加勒在《科学的价值》一书中所说的：“牛顿原理”、“迈尔原理”、“拉瓦锡原理”、“卡诺原理”等旧物理学的基本定律，完全濒于崩溃，“数学的物理学的危机”到来了。对旧理论失去信心的物理学家们除了经验事实以外，什么也不相信了。在他们之间流行着一种经验主义的、实证主义的倾向，说什么“科学并不是客观自然界的某种模写，只不过是人的意识的产物”，“科学的任务是忠实地描述经验，而不是说明自然界的本质”。马赫、基尔霍夫、奥斯特瓦尔德、彭加勒等人便是这方面的代表。相反地，也出现了玻耳兹曼、普朗克这样坚持实在论观点的人，两者之间不断地展开了争论。在这个期间还发生了玻耳兹曼、德鲁特的自杀悲剧，因为他们的世界观都不足以掌握“物理学的危机”的本质。正确地分析了这个问题的是列宁，但是在当时的物理学家中间，几乎对这项研究毫无所知。

物理学在这以后的蓬勃发展，与实证主义者的期望相反，是以原子论的物质观为中心展开的。计量电子、 $\alpha$ 粒子这样肉眼看不见的粒子的数目的“盖革计数器”的发明，和表示它们的径迹的“威尔逊云雾室”的设计，都有力地推进了对原子结构的研究；1911年，卢瑟福建立了原子行星模型。但是在这里旧理论又遇到了危机。根据这个模型无法说明原子的稳定性和光谱系的规则性。1913年，玻尔引入了一个采用普朗克的量子概念的极为大胆的假设，提出了所谓前期量子论。它具有折衷主义的性质，即，一方面承认牛顿、麦克斯韦的经典理论的规律性，另一方面又容许与这些理论完全不能相容的两个假设。随着对复杂的系统的研究，这种二元性的矛盾愈来愈尖锐，即使应用了玻尔的“对应原理”，毕竟也找不到一条解决的道路。



在这个时期又发现了一个惊人的事实。那就是说，无论是光或物质都有二象性。明确了它们都既具有“粒子性”同时又具有“波动性”。这已经是不能用部分地修改经典物理学等方法来解决的问题了。根据以前的许多经验，知道电子是具有一定的电量和一定的质量的粒子，决不存在什么电子“碎片”。尽管如此，却又发现电子具有波动性，当一个电子同时通过晶体的两个以上的格子时就发生衍射现象。在牛顿力学中所研究的粒子，和普通的粒子概念相同，是在某一时刻占有空间的某一点，并以一定的速度沿某一轨道运动的物体，所以它和具有在整个空间延展性质的波动的概念无论如何是不能并存的。毫无疑问，对于旧的物理学家来说，这种矛盾是完全不能容忍的。曾经研究电子论而且为相对性原理奠定了基础的老物理学家洛伦兹曾绝望地说过这样一段话：“在今天，人们提出与昨天所说的话完全相反的主张；在这样的时期，已经没有真理的标准，也不知道科学是什么了。我很悔恨我没有在这些矛盾没出现的五年前就死去。”

物理学家们又开始怀疑了，有的人走向实证主义，有的人走向不可知论，其他的人走向了神秘主义。但是，1925年一个崭新的理论——“量子力学”光辉地诞生了。尽管如此，围绕量子力学的解释，物理学家的哲学思想还一直是混乱的。而使这种混乱加剧的是量子力学的创始者们常常在无意之中过分露骨地表现出了实证主义的见解。例如，海森堡曾经说过：“物理学家是应该只对知觉的联系作形式的描述”，又说：“现代物理学不是研究原子的本质和原子的结构，而是研究我们观测原子时所知觉到的现象”等等。因此，在初期人们往往从实证主义或它的近代形式即操作主义的立场出发来解释量子力学。在我国，较早出版的菊池正士博士的著作可以说就是这样一个典型。例如书中有这样一段话：“所

谓自然规律，可以说是描述一定实验操作中附属于实验仪器的计量器具上的读数之间关系的东西，而不是要通过现象来把握它背后的实体的东西”。

但是，正如畏友武谷三男一再提醒的那样，必须把物理学本身和物理学家对物理学的解释严格地区别开来。自然科学家在多数场合所做的和自己所说的不一致。菊池博士在他的著作《物质的结构》一书中说过，认为外界是独立于人的意识之外而存在的这种唯物主义的观点，是居住在常识世界里的人们的素朴的立场，它和量子力学那样高度发达的科学的立场是毫无关系的。但是，在这同一著作中，博士在对本人取得辉煌业绩的电子衍射和中子散射进行说明时，却完全回到素朴的实在论的立场。这证明博士在实验室中一直是站在素朴的实在论的立场上的。

本来，关于科学和世界观的联系问题，不从历史上来考察科学的起源及其发展是不能了解的，而专门的科学家往往以狭隘的眼光作出独断的解释。现在，我们暂时离开理论物理学来考察一下这个问题。

## 二

据说自从地球上有了人类以来大约已有一百万年了。即使从现有人类出现以来算起，也有几万年了。在这个期间，人类生产了种种的生活资料，并靠消费这些生活资料延续了他们的生活。同动物的生活不同，人类的生活是按照一定的计划进行的，它的特征在于人类对周围的自然施加某种作用，使它改变为适合于自己要求的形式。如果把这种行为称为实践，那末人类的生活本来就是实践的。然而，为了使实践得以成立，就必须承认自然界(外界)是独立于我们的意识之外而存在的，它通过感觉反映到意识中来。这

是人类在日常生活中经常所持的立场，所以它被称为素朴的实在论，在哲学上就是唯物主义的立场。

不过，人类的实践只有在通过感觉反映出来的外界的映像，即人类关于自然的认识没有错误的情况下，才能得到预计的成功。人类是通过实践的成功和失败来发现不依自己的愿望和意志为转移的客观的自然结构及其规律的。科学是作为通过这种实践所认识的关于客观规律性的知识体系而发展的。因此，科学知识能够保证人类实践的有效性，而认识的真理性又必须经常用实践来检验。如果考虑到科学和实践之间的这种密切关系，就会了解科学是必须经常以“实践的立场”即唯物主义为基础的。而且科学的发展和实践的成功不断地证明了唯物主义的正确性这样的关系也是可以理解的。在这个意义上，应该说唯物主义已经决不是素朴的观点，而是为近代科学的全部成就所验证的科学的 worldview。我们不妨这样断定，凡是否定唯物主义的立场，都是妨碍科学发展的。

人们常说，近代科学的特征在于实证性。这种说法作为表达了上述科学认识的真理性标准在于实践这种关系的一个方面来说是正确的。可是，自然科学家往往片面地强调这个实证性，而忘记或者故意试图否认科学认识的唯物主义前提。前面说的实证主义就是指的这种观点。这可以说是反映了面临变革时期的科学家除了经验以外什么也不相信的惶恐不安的心理。实证主义者说，“所谓科学就是指按照自然原来的样子进行观察”，而实证主义的新形式，即操作主义者又说，“所谓物理量只是表示要测量的操作的符号，它与客观实在没有任何关系”。然而科学家在实验室中却始终是在“实践的立场”上的，因为“实验”是“实践”的一种形态。他们一方面说：“物理学是应该只对知觉的联系作形式的描述”，另一方面又研究用直接经验决不能观察到的原子结构，揭示出基本粒

子的性质。物理学家所以发现原子、阐明了它的结构，决不是由于按照自然原来的样子进行观察的缘故。人类的认识最初虽然是从直接经验出发的，但所以能够跨过感觉的界限而揭示出隐藏于现象背后的本质关系，乃是因为站在“实践的立场”上的缘故。今天所以终于使全人类承认了原子的存在，则是基于坚决要把原子能释放出来的人类实践的成功。

既然自然科学和唯物主义之间有不可分离的关系，为什么每当面对变革时期时理论物理学家还要走向实证主义或经验主义呢？到十九世纪末期为止，在很长时期内，支配自然科学家的世界观的是形而上学的唯物主义（机械唯物主义），即把世界看做是由个别的、可以一个一个地彼此割裂开来进行考察的、固定不变的对象构成的。这就把牛顿力学等从初期自然科学发展中取得的自然观即下述观点加以普遍化了：“自然界……，只要它一旦存在，那末在它存在的时候它始终总是这样。行星及其卫星，一旦被神秘的‘第一推动力’使其运动起来之后，它们便依照预定的轨道一直运转下去，或者至少运转到一切事物消灭为止。恒星则永远静止地固定在自己位置上，凭着‘万有引力’而互相保持着这个位置。地球从开始起或从它被创造的日子起（不管哪一种情形）便一成不变地总是原来的样子。现在的‘五大洲’始终存在着，它们始终有同样不变的山岭、河谷、河流，同样不变的气候，同样不变的植物区系和动物区系，……。植物和动物的种类，一产生便从此永远确定下来，相同的东西总是产生相同的东西，……”<sup>①</sup>。但是科学发展了，唯物主义的形式也不能不发生变化。以后，科学的蓬勃发展就要求唯物主义改变它的面貌。自从康德、拉普拉斯提出太阳系形成的

---

① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社1961年版第7页。——译者

假说以后,认为自然界不只是存在着,而是生成着并消灭着的观点占了优势。“进化论”在科学的各个领域中出现了。于是,认为整个自然界是在永久的流动和循环中运动着这一赫拉克利特的思想就复活了,“辩证法的自然观”形成了。因此,唯物主义也不能不发展为辩证唯物主义了。但是,那些确信牛顿力学为确定不变的理论的物理学家们,仍然受形而上学的唯物主义的支配,按照形式逻辑进行思惟。这也可以说是近代科学陷于过度专业化的弊病吧。当新事实的发现开始动摇了牛顿力学的基础时,他们才注意到自己的世界观的脆弱性,并陷于混乱之中。但是,他们还不知道他们的世界观的偏狭性就在于它的“形而上学性质”,而不在于它的“唯物主义性质”。结果,把若干根本原则的崩溃径直地误认为是客观规律性的一般否定,就把小孩子和水一起从浴盆里泼出去了。这就是把变革时期的物理学家往往引导到实证主义的道理。

有人说自然科学家即使世界观不同,彼此也能互相了解,互相协作。这是因为:第一,在许多情况下,他们的世界观只不过是一种装饰品,而在实际进行研究时必定要站在“实践的立场”上;第二,不管科学家的解释如何,科学的内容基本是自然界的规律性的忠实的反映。可是,清楚地意识到以近代科学的全部成就为基础的最高观点“唯物辩证法”时,与无意识地站在素朴实在论的立场或者和错误的世界观结合在一起时,他们在研究的进度上一定有显著的不同。对于一切科学,可以说情况都是这样,而尤其是像理论物理学这样有了高度的发展而且又是研究基本概念和基本规律的学问,只要是不采取最高的观点、用高度的逻辑学来进行研究,就随时都面临着滑向错误方向的危险。以往的物理学家片面地只相信实证的方法;他们一面通过“尝试与错误”的方法从自然界本身求教正确的方向,一面前进,并且盲目地相信这是唯一的正确方

法。但是，近代科学的伟大成就已经证实了“自然的辩证法”，而且正因为如此，已经弄清对自然界的认识也是依照辩证过程进行的。既然如此，就应当自觉地运用自然辩证法，拿它当作指示自己研究方向的指南针。

最近，在自然科学家中间意识到这种观点的有效性的人逐渐增多了。值得注意的是苏联的科学家们对于自然辩证法的研究表现了异常的热情；在其他国家里也有像贝尔纳（英国的化学物理学家）、李约瑟（英国的生物学家）、郎之万（法国的物理学家）这样第一流的科学家就自然辩证法写出了优秀论文。又听说像“人工放射性”的发现人约里奥-居里夫妇和“宇宙线的簇射”的发现人布莱克特等权威科学家都支持自然辩证法，在制造“原子弹”当中发挥了重要作用的美国最大的理论物理学家奥本海默也在研究这方面的问题。在我国，畏友武谷三男已就量子力学的解释和关于牛顿力学的形成问题发表了杰出的研究论文，展开了自然辩证法的新阶段（也可以称做量子力学的阶段）〔2〕。近来汤川博士也说，理论物理学的发展方式是“辩证法的”，它的立场是“唯物主义的”〔3〕。

### 三

其次，简单地谈谈从以近代科学的全部成果为基础的辩证法的自然观抽引出来的“自然的逻辑”，即自然辩证法的基本特征。首先第一个特征是：“自然界不是彼此隔离，彼此孤立，彼此不相互依赖的对象和现象的偶然堆积，而是互相联系，互相依赖，互相制约的对象的有内在联系的统一整体”①；“整个自然界，从最小的东西到最大的东西，……都处于永久的产生和消灭中，处于不间断的流动

① 参看斯大林：《辩证唯物主义与历史唯物主义》，人民出版社1960年版第2页。——译者

中,处于不休止的运动和变化中”<sup>①</sup>。第二个特征是,关于自然界的发展和运动的规律,同黑格尔所发现的思惟发展规律具有相同的形式。这就是“从量转化为质和从质转化为量的规律”,“对立的相互渗透的规律”,“否定之否定的规律”等等<sup>②</sup>。

现在稍微做一些具体的说明。现代的科学已经发现在自然界中存在着各种不同质的“梯级”(运动形态),例如,基本粒子——原子核——原子——分子——物体——天体——星云这样的“梯级”。这些梯级是决定着一般物质的各种不同质的存在形式的关节点,而不只是有上述的那样直线的关系,也可以向分子——胶体粒子——细胞——器官——个体——社会这样的方向去联系。另外,同一物体也还有固态——液态——气态等等梯级。打个比喻来说,这个情况既可以说好像具有立体网格的那种结构,又可以说具有像洋葱那样的层次结构。这些“梯级”决不是彼此孤立,彼此不相依赖的,而是互相联系、互相依赖、并且不断地互相转化着。例如,由基本粒子构成原子,由原子构成分子,分子又分解为原子,原子又分解为基本粒子。这样的转化不断地发生;新的质产生又消灭,处于不休止的变化中。甚至物质的最简单的、终极的构成要素——基本粒子,也不是像德谟克利特的原子那样,具有作为永久不变的“atom”<sup>③</sup>的形而上学性质。例如,宇宙线在大气中产生出介子,经过一百万分之二秒的短暂寿命就转化为电子和中微子。

这种不同的“梯级”之间的转化以及新质的产生和消灭,都是依照“黑格尔的规律”进行的。物理学家也许会反对这种意见,认为:“构成原子的规律是量子力学的规律,使太阳系成立的规律是

① 恩格斯:《自然辩证法》,第13页。——译者

② 同上书,第39页。——译者

③ atom,希腊文 ἄτομος,意为“不可分割的”,一般译作“原子”。——译者

牛顿力学的规律”。完全正确，各个“梯级”都受着它们各自的固有规律的支配。正因为如此，个别科学才有其必要。但是不论在“量子力学”中，在“牛顿力学”中，在“生物进化规律”中，在“社会发展规律”中以至于在“思维发展规律”中，所能找到的共同的普遍规律，就是“辩证法”。所以，它可以说是“自然的逻辑”，因此所有的科学，无论量子力学或牛顿力学，只能用辩证法的逻辑来理解。围绕量子力学的解释所引起的混乱，其主要原因就在于物理学家没有掌握辩证法的逻辑。关于这一点，后面还要提到。

“从一个‘梯级’突变为另一个‘梯级’，并不是偶然发生，而是规律式地发生，即是由……逐渐的量变积累而引起的结果。”<sup>①</sup> 这样的“从量转化为质的规律”对今天的自然科学家来说，已经是普通常识了。在物理学中所有的变化都是从量到质的转化。例如，产生电子对需要一百万电子伏的能量，产生介子需要一亿电子伏的能量。众所周知，近年来原子核物理学的发展，是以考克饶夫、瓦尔顿的八十万电子伏的高压发生器的完成为契机取得的。而化学<sup>②</sup> 是研究物体由于量的构成的变化而发生的质的变化的科学，这是无须举例说明的。恩格斯曾经以讽刺的口吻说过：“如果这些先生们许多年来曾经使质和量互相转化，却全然不知自己在做什么，那只有和莫里哀的儒尔丹先生一起互相安慰，这位儒尔丹先生在自己一生中说的是散文，但一点也不知道散文是什么东西。”<sup>③</sup>

辩证法的第二个规律谈到，所有的“梯级”都是由对立物的统一形成的，由于对立物的斗争而发展到较高的“梯级”。这里只从基本粒子论中举一个例子。原子核是由中子和质子构成的。汤川

---

① 参看斯大林：《辩证唯物主义与历史唯物主义》，第4页。——译者

② 原文是“科学”，疑为误植。——译者

③ 恩格斯：《自然辩证法》，第45页。——译者



理论阐明了如何从这些基本粒子构成原子核的这种机制。这个理论的核心在于，中子具有转化为质子和负介子的性质。但是，不能因为中子能转化为质子和负介子，就说中子是由质子和负介子构成的，因为这种关系是相互的，质子也能转化为中子和正介子。因此，不论中子或质子都是“单一的”，同时又都是“复合的”，可以说是把“单一性”和“复合性”的对立统一起来的東西。而且这种对立在由基本粒子构成“新的质”即原子核的过程中，起着原动力的作用。

在自然界中，各种不同“梯级”的产生和消灭不休止地在发生，从而构成自然的历史。现在，让我们从华盛顿大学伽莫夫的名著《太阳的诞生和死亡》中摘录一段关于宇宙演化的卓越的叙述。

“话题要从充满难于置信的又热又重的气体的空间谈起。在这里，种种的原子核的变换就像在开水里煮鸡蛋那样轻而易举地进行着。就在这个宇宙的‘史前时代’的厨房里，决定了各种元素存在的比例（即指铁和氧比较多，金和银比较少的情况）。在这个时期，还产生了到现在还没有完全消灭的长寿命的放射性元素。

“由于这种炽热的压缩气体的惊人的巨大压力，宇宙开始膨胀了，此后其密度和温度都在不断地下降。在膨胀的某一阶段连续起来的气体分为很多大小不同的、形状不规则的星云，不久就成为形状有规则的各个星体。这些星比今天的星大得多，但它并不是很热。可是他们由于受重力的作用渐渐收缩下去，半径减小而温度上升起来。这些原始的星常常相互碰撞，产生出很多行星系。地球的产生便是这些碰撞的结果之一。

“这样，在星的温度上升的时候，由于行星很小，产生不了展开热核反应所需要的高温，于是便形成固体的硬壳。充满宇宙的‘星气体’继续膨胀，星和星之间的距离渐渐接近于今天的数值。