

天文学进展

PROGRESS IN ASTRONOMY

第1卷

Vol.1

第1期

No.1

1983

天文学进展编辑部 编辑

知识出版社 出版

《天文学进展》第一届编辑委员会委员名单

主 编: 叶叔华¹

责 任 副 主 编: 全和钧²

副 主 编: 李启斌³

编委兼编辑部负责人: 刘金铭⁴

编委(以姓氏笔划为序): 万同山 任江平 向德琳⁵ 刘金沂 李 竞⁶ 何妙福⁷

吴铭蟾⁸ 吴智仁⁹ 杭桓荣¹⁰ 陈载璋¹¹ 陈道汉¹² 胡宁生

姚保安¹³ 洪韵芳¹⁴ 蔡贤德¹⁵ 漆贯荣¹⁶

The First Editorial Committee

Editor-in-chief: Ye Shu-hua¹

Managing Deputy Editor-in-chief: Quan He-jun²

Deputy Editor-in-chief: Li Qi-bin³

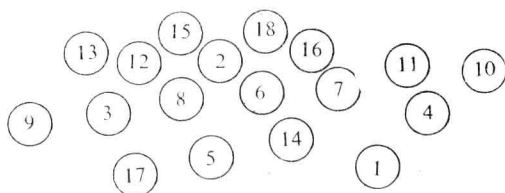
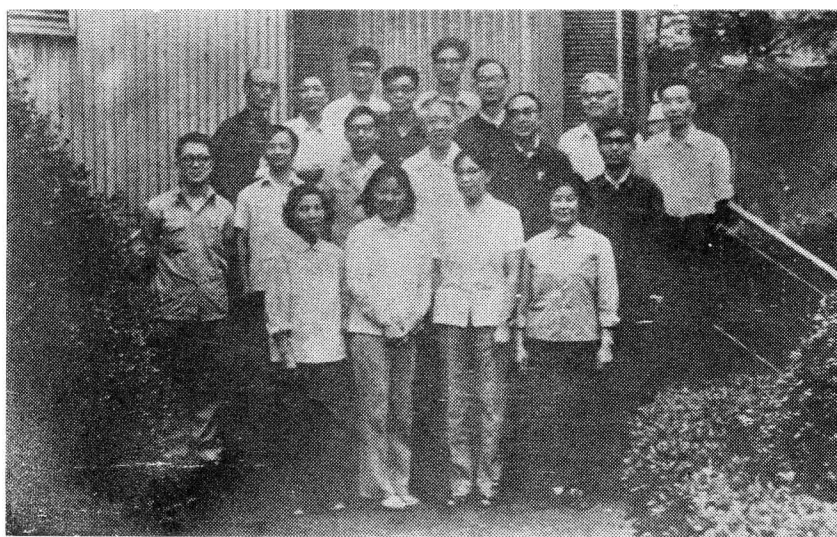
Editor, Director of the Editorial Board: Liu Jin-ming⁴

Editors: Wan Tong-shan Ren Jiang-ping Xiang De-lin⁵ Liu Jin-yi Li Jing⁶

He Miao-fu⁷ Wu Ming-shan⁸ Wu Zhi-ren⁹ Hang Huan-yong¹⁰

Chen Zai-zhang¹¹ Chen Dao-han¹² Hu Ning-sheng Yao Bao-an¹³

Hong Yun-fang¹⁴ Cai Xian-de¹⁵ Qi Guan-yong¹⁶



第一届编辑委员会全体编委合影(一九八三年六月廿五日于上海)

天 文 学 进 展

第 1 卷 第 1 期

目 录

祝贺词.....	张玉哲等 (3)
本刊编辑方针.....	《天文学进展》编辑委员会 (7)
致读者.....	本刊编辑部 (9)

述 评

不可视物质的成份及结构.....	方励之 (10)
光学选择类星体的一些特性.....	何香涛 (20)
毫秒脉冲星.....	李启斌 (29)
由几个有关分子云的问题看银河 CO 巡视的现状.....	向德琳 (37)
哈雷彗星与彗星研究.....	胡中为 阎林山 (54)
天体力学的展望.....	易照华 (68)
行星自转动力学的有关问题.....	张承志 (74)
新天文常数系统.....	吴守贤 漆贯荣 (81)
太阳磁场望远镜的进展.....	中国科学院太阳磁场望远镜联合研制组 (91)

前 沿

MERIT 计划的意义、进展和前景.....	金文敬 赵铭 (100)
------------------------	----------------

研 究 消 息

耀斑的连续发射是罕见的吗?	方成 黄佑然 胡莉 高修发 (109)
上海天文台氢脉泽研制工作的进展	黄享祥 陆家福 (111)
红外天文卫星简介	杭恒荣 (112)
国际哈雷彗星联测	沈祖耀 (114)
红外天文卫星第一红外星表	蔡贤德 (115)

学术会议活动

中国天文学会学术会议(序号 1):《统计方法在卫星动力学中的应用讨论会》(1983年 4 月,昆明)(116);
中国天文学会学术会议(序号 2):《天文地球动力学星表天文常数会》(1983年 4 月,武汉)(116);中国天文学会学术会议(序号 3):《普及工作会议及学术报告会》(1983年,北京)(117);中国天文学会学术会议(序号 4):《图书情报工作学术交流会》(1983年 5 月,昆明)(118);中国天文学会学术会议(序号 5):《射电天文学术讨论会》(1983年 9 月,北京)(119);中国天文学会学术会议(序号 7):《理论天体物理学术讨论会》(1983年 8 月,乌鲁木齐市)(119);中国天文学会成立天文学名词审定委员会(1983年 9 月,北京)(120);“恒星核合成”会议(121);第二次地球自转国际联测工作会议(121);正在考虑中的国际天文学联合会专题和学术讨论会(122);国际天文学联合会会员感兴趣的其他会议(123);未来的地区性天文学会议(123);国际天文学联合会专题讨论会No.101-110(123)。

资 料 和 信 息

现代天文学重大发现一览表	《天文学进展》编辑部 (124)
--------------------	--------------------

PROGRESS IN ASTRONOMY

VOL.1 NO.1

CONTENTS

Congratulations.....	<i>Zhang Yu-zhe etc.</i>
Principles for Editing the Journal.....	<i>The Editorial Committee</i>
To Our Readers.....	<i>The Editorial Board</i>

REVIEWS

Contents and Structure of Invisible Matter in the Universe.....	<i>Fang Li-zhi</i>
Some Properties of Optically Selected Quasars.....	<i>He Xiang-tao</i>
Millisecond Pulsar.....	<i>Li Qi-bin</i>
Current Situation of the CO Survey in Our Galaxy in View of Relevant Problems of Molecular Clouds.....	<i>Xiang De-lin</i>
Halley Comet and Studies of Comets.....	<i>Yan Lin-shan Hu Zhong-wei</i>
The Vistas of Celestial Mechanics.....	<i>Yi Zhao-hua</i>
On Some Problems of the Dynamics of Planetary Rotations.....	<i>Zhang Cheng-zhi</i>
New System of Astronomical Constants.....	<i>Wu Shou-xian Qi Guan-rong</i>
The Progress of the Solar Telescope-Magnetograph	

..... *The Co-operative Development Group of the
Solar Telescope-Magnetograph, Academia Sinica*

FRONTIER

The Significance, Progress and Prospect of the Project MERIT

..... *Jin Wen-jing Zao Ming*

RESEARCH NOTES

Is the Continuum Emission of Solar Flare a Sort of Unusual Events?

..... *Fang Cheng Huang You-ran Hu Ju Gao Xiu-fu*

The Development of Shanghai Observatory Hydrogen Maser..... *Huang Heng-xiang Lu Jia-fu*

A Brief Account of IRAS..... *Hang Huan-rong*

International Halley Watch..... *Sheng Zu-yao*

First List of IRAS Sources..... *Cai Xian-de*

ACADEMIC MEETINGS AND ACTIVITIES

CAS (Chinese Astronomical Society) Symposium No.1: «The Application of Statistical Methods to Satellite Dynamics» (Kunming, April 1983) (116); CAS Symposium No.2: «Astro geodynamics, Star Catalogues and Astronomical Constants» (Wuhan, April 1983) (116); CAS Symposium No.3: «Astronomical Popularization Meeting» (Beijing, May 1983) (117); CAS Symposium No.4: «Library and Information» (Kunming, May 1983) (118); CAS Symposium No.5: «Radioastronomy» (Beijing, September 1983) (119); CAS No.7: «Theoretical Astrophysics» (Ürömqi, August 1983) (119); The Establishment of the Astronomical Terminology Committee of CAS (Beijing, September 1983) (120); "Nuclear Synthesis in Star" Meeting (121); Second MERIT Workshop (121); Meetings under Consideration as IAU Symposia/Colloquia (122); Other Meetings of Interest to IAU Members (123); Future Regional Astronomy Meetings (123); IAU Symposium No.101-110 (123);

DATA AND INFORMATION

▲ List of Important Discoveries in Modern Astronomy *The Editorial Board*

千里懷志常在青春
已未貴紙之後刊發

微
山出后如
鐘如鏗
已對廣人
已盡精

書誌「天文學進展」
創刊 一九八三年八月

王綬琯



鐘山太史——張鈺哲，中國科學院學部委員，中國天文學會理事長，紫金山天文台台長，研究員。

王綬琯，中國科學院數理學部副主任，中國天文學會副理事長，北京天文台台長，研究員。

天文动态 前沿进展
提供资料 任重道远

天文学进展创刊

李珩 敬贺

祝贺天文学进展创刊, 书以共勉:

放眼世界, 本乎国情,
规划天文, 务实赶超,

龚树模

一九八三, 九, 十二。

博采中外 荟萃精华
开阔视野 启迪思想

祝贺《天文学进展》创刊

陈遵尧

一九八三年八月廿二日
北京

李珩, 中国科学院上海天文台名誉台长, 中国天文学会名誉理事长, 研究员。

龚树模, 中国科学院紫金山天文台副台长, 中国天文学会副理事长, 研究员。

陈遵尧, 北京天文馆名誉馆长, 中国天文学会名誉理事长, 研究员。

从落后的起点，迈向世界的高峰，有待于我们集体的，有效的努力。

“精诚所至，金石为开”：只有用滴水穿石的精神，坚持不懈，团结合作才能达到我们的目的。

希望《天文学进展》能在我国天文学现代化方面起它应有的作用。

天文战线上的普通一兵

陈彪

谨以一个天体物理工作者的心愿祝贺《天文学进展》的创刊，盼望它不断扩展我们的视界，也不断纪录下我们探索的世界线。

方励之

一九八三年八月三十日

祝《天文学进展》创刊

马克思说：“一切科学工作，一切发现，一切发明，这种劳动都部分地以今人的协作为条件，部分地又以对前人劳动的利用为条件。”（《马克思全集第25卷第120页）方今，天文学进展一日千里，我们要迎头赶上，就必须全面了解和充分利用国际国内已有的成果并组织可能的协作攻关。因此，以报导天文学各分支学科最新进展、前沿工作、会议动态和综述评论为任务的《天文学进展》的创刊，对于我国天文学的进展具有重大的现实意义。我衷心地祝愿她茁壮成长。

席泽宗

一九八三年八月二十日

庆《天文学进展》创刊

并致贺忱

六十年代天文学的四大发现，七十年代空间天文和地面天文新观测的进展，使人们在探索、认识和分析宇宙方面得到了更多的题材；估计八十年代的天文学和天体物理学可能与以往二十多年的进展并驾齐驱。

北师大天文系的同行，早就希望中国天文学会发行一种能反映天文学和天体物理学的动态、新进展等的刊物。我们庆贺《天文学进展》的公开发行；祝《天文学进展》为我国的天文科研事业做出更多的贡献。

冯克嘉

一九八三年八月十九日

陈彪，中国科学院数学学部常务委员，云南天文台台长，研究员。

方励之，中国科学院学部委员，中国科技大学教授。

席泽宗，中国科学院自然科学史研究所所长，中国科学技术史学会副理事长，研究员。

冯克嘉，北京师范大学天文学系系主任，中国天文学会常务理事，教授。

汇集星球科学之精萃
传播祖国天文之进展

祝《天文学进展》创刊

苗永瑞

一九八三年十月四日

祝 贺 信

《天文学进展》编辑部：

贵刊创刊，令人高兴，谨申祝贺。

多年以前有些兄弟学科已有类似于本刊宗旨的刊物，从那时起我们就很期望有《天文学进展》这一类刊物问世。奈因条件不成熟也就只能停留在热烈的期待上，前些年办的《天文进展》实际上部分地起了本刊的作用，成绩是应该肯定的。现在又组织全国天文工作者的力量，来正式公开出版面向全国《天文学进展》，当然完全可以相信，今后它将在交流学术思想、介绍最新动态方面起良好的推进作用。

希望《天文学进展》一经问世，就长期存在下去，永葆青春，让它作为我们伟大的中华民族重新登上天文学的世界高峰的记录和见证。那时候让从它这里吸收了营养的下一代、再下一代的天文学家来评论它的贡献，将是十分有意义的。

祝刊物

胜利前进

吴守贤

一九八三年八月十一日

祝贺《天文学进展》创刊

《天文学进展》学报的创刊，将对我国天文界的学术情报交流，提高学术水平起应有的作用。

资料文献和学术刊物是通往科研大道的桥梁，也是孕育人材的基石。

我们殷切期望：此刊物创于今天，他日当流传久远。它也将引导我国天文科研、教育和普及等领域中的学者，学习、了解当代天文学的前沿进展，温故知新，择精挈领，孜孜不倦，蔚然成风。

陈晓中

一九八三年八月十五日

我们的祖先在古代曾有光辉的天文学成就，生活在社会主义时代的我们，理应在现代天文学研究上作出应有的贡献。

张柏荣

一九八三年八月十六日

苗永瑞，中国科学院陕西天文台台长，研究员。

吴守贤，中国科学院西安分院副院长，中国天文学会副理事长，副研究员。

陈晓中，北京天文馆馆长，中国天文学会常务理事，副研究员。

张柏荣，中国科学院昆明分院副院长，中国天文学会副理事长，云南天文台台长，副研究员。

本刊编辑方针

天文学的进展日新月异，新的发现不断涌现，新的理论或学说也不断提出；天文学各分支学科同物理学、数学、空间科学、地学以及其他学科之间的相互渗透日益加深，产生了一些新兴边缘学科，天文学在实际应用方面的范围也日益扩大。因此，从事天文学及相关学科研究和教学工作的专业人员、研究生以及高年级大学生，迫切需要了解有关分支学科领域中所取得的进展和有启发性的成果，以开阔眼界，活跃自己的学术思想。《天文学进展》这一刊物就是为满足这种实际需要而创办的。

《天文学进展》的首要宗旨是为读者了解天文学各分支学科所取得的学术进展提供方便，为我国现有天文学及相关学科专业工作者特别是年青的科研人员和教师提供信息，本刊将以相当大的篇幅刊登述评性文章，并将试办《讲座》专栏。

《天文学进展》将及时反映和报导国内外天文学各分支领域内所取得的新进展，既要反映天文学前沿阵地的重大突破和新兴领域中的活跃动态，也要反映那些历史悠久的分支学科出现的引人注目的新动向。为此，本刊将开辟《前沿》和《研究消息》专栏。

《天文学进展》还将及时反映和报导国内外天文界的学术活动和动态以及其他有学术价值的资料和信息，为科研、教学人员和组织管理人员了解这方面的情况提供方便。为此，本刊将开辟《学术会议活动》及《资料和信息》专栏。

热诚地希望天文界同行和广大读者，协助我们共同把这一刊物办好。

《天文学进展》编辑委员会

Principles for Editing the Journal

Astronomy is making rapid headway. New discoveries in astronomy are constantly made and new theories are being put forward. The permeations between each branch of astronomy and physics, mathematics, space science, geoscience as well as other branches of learning are deepening with the result that some frontier sciences have emerged. The scope of applying astronomy to practice is daily widening. Thus, the specialists engaged in the research and teaching of astronomy and the related branches of learning as well as the graduates and seniors are eager to keep up with the developments and the enlightening results in the interested field which are new to them, so they may broaden their scope of knowledge and strike on something new in their own field. The journal of *PROGRESS IN ASTRONOMY* has precisely come into existence with a view to satisfying the needs above.

The journal aims primarily at enabling the readers to keep up with the latest developments in each branch of astronomy, and providing information for the professionals across the country in astronomy as well as in the related branches of learning, especially the younger researchers and teachers. Reviews will be given a wide coverage and a lecture column will be included.

The journal intends to follow closely and report timely the new developments in each branch of astronomy at home and abroad, and not only report the important breakthrough in the frontiers of astronomy and the progress made in the new and rising areas of astronomy but the new attractive trends in the long established branches of astronomy as well. Therefore two special columns, "Frontier" and "Research Notes", will be covered

In addition, the journal intends to report in good time the academic activities of astronomical circles at home and abroad as well as the data and information of academic value, thus keeping the researchers, teachers and administrative personnel informed of the current situations in this field. For this purpose, the special columns, "Academic Meetings and Activities" and "Data and Information" will also be covered.

Comments upon and suggestions for the journal from professionals, amateurs or anyone who cares to read it will be highly appreciated.

The Editorial Committee

致 读 者

《天文学进展》经国家科委批准，在中国科学院数学学部、中国科学院图书情报出版委员会的关怀下，在中国天文学会支持下，在国内各兄弟天文单位的共同协助下与广大读者见面了。我们首先向为本刊题词和寄来贺词的天文学家们表示衷心的感谢。我们还要感谢国内各兄弟天文单位的大力支持，感谢为创刊号撰写文章的天文界同事，感谢为本刊的问世作出努力的所有人士。

《天文学进展》的前身是《天文进展》(季刊)，它创刊于1981年，从那年的1卷1期到1983年3卷2期为止，共出版了10期。《天文进展》原刊名为《天文参考资料》，它创办于1972年，到1981年底为止共出版过38期。这两份刊物都是以天体测量学为主要内容的情报性刊物。

《天文学进展》是面向全国公开发行的学术性刊物，它将反映天文学各分支学科所取得的学术性进展，它是我国天文界盼望已久的刊物，并对其未来寄予较高的期望。我们深知责任重大，我们将遵照本刊编委会拟定的编辑方针努力把办好。

热诚地期望国内天文界同行，多多给予支持和帮助。欢迎大家踊跃投稿。欢迎对本刊提出批评和建议，以利于我们今后改进工作。由于办刊经验不足，错误和欠妥之处难免，恳切希望来函指正。

《天文学进展》编辑部

不可视物质的成分及结构

方 励 之

(中国科学技术大学天体物理研究室)

提 要

本文评述了宇宙中的不可视物质问题。第一节中我们讨论存在不可视物质的证据,例如,各种天体系统的质光比,不同方法所得到的减速参数 q_0 等。不可视物质的可能的成分在第二节中加以列举和分析,其中提及有静质量的中微子、有静质量的光微子,原初黑洞及磁单极子等。在第三节中我们指明,可视物质和不可视物质的密度分布是十分不同的。可视物质在星系、星系团及超团尺度上都有明显的成团,而不可视物质的分布是较均匀的。最后一节我们研究了形成这种分布上的差异的可能性。对于两成分宇宙,如果密度扰动的增长时标及衰减时标满足适当的关系,则该扰动能在一种成分中触发增长扰动,而在另一成分中却是衰减的。在中微子为主的宇宙中,上述机制能用来解释为什么不可视物质的分布如此之均匀。

一、存在不可视的物质

宇宙中除了存在星系、类星体等可视天体,即发射电磁辐射的天体,还有大量的不可视物质,即不发射电磁辐射、或极少发射电磁辐射的物质。

证明存在不可视物质的第一个证据就是天体系统的质光比随着天体系统的线尺度的增大而增大。表1给出Faber和Gallagher所总结的结果^[1]。由表1看到,从星系尺度到星系团尺度,质光比增加了近50倍,从而说明,星系团中应有大量的不发光,或不可视的物质。

证明存在不可视物质的第二个证据是关于减速参数 q_0 的确定的结果。我们发现^[2],虽然迄今得到的 q_0 值还相当弥散,但是弥散是相当有规律的,用视星等红移方法(即哈勃图方法)得到的 q ,一般总是大于 $1/2$;另一方面,用质量密度方法所得到的 q_0 却总是小于 $1/2$ 的。这种系

表1. 各种天体系统的质光比

名 称	$\langle M/L \rangle$ 的 范围 ($hM_\odot/L_\odot$)	$\langle M/L \rangle$
S 星系	8—12	10
E+SO 星系	10—20	15
双星系	12—70	40
星系群	60—180	100
星系团	200—900	500

$$h = (H_0/100 \text{ km/Mpc} \cdot \text{s})$$

1983年6月19日收到。

统性的差别,是不能用样品的选择效应或者不完整性加以解释的。系统性差别的原因应在于方法本身。视星等红移方法是反映总质量密度的作用,而直接测定的平均质量密度往往只包含可视天体的贡献,以及与可视天体的分布成比例的其他成分。这样, q_0 确定中的系统性偏差可能暗示着存在不可视物质,而且其分布与可视天体并不成比例。

还有其他的观测证据表明存在着不可视的物质,将在下面几节里分别讨论。这样,在宇宙学中就提出了一系列有关不可视物质的问题,它们是:

1. 不可视物质的数量有多少?
2. 不可视物质的主要成分是什么?
3. 不可视物质在宇宙间的分布如何?
4. 不可视物质的非均匀分布形成的机制是什么?

虽然这些都是宇宙学中的新问题,但已经有了不少有兴趣的研究结果。

二、不可视物质的主要成分

早在研究“下落不明的质量”问题的初期,就曾多方面地研究过可能的不可视物质。例如,曾猜测不可视物质是中性氢,或电离氢,但通过恒星的星际吸收以及射电发射的研究证明,它们不可能是下落不明的质量的贡献者。也不可能是尘埃^[3],或者演化到终点的恒星,即黑矮星,老的中子星及恒星质量的黑洞。

至今还并不能直接否定行星或小行星尺度的不发光天体。因为它们不发光,而且也难于用射电方法或X射线方法间接探知,因而不能排除它们是不可视物质的候选者。

不过,已有间接的证据表明,重子形态的各种物质的总量不可能比可视天体的总量大很多。这个论断是由 H_e , D 等轻元素的丰度得到的。若 H_e , D 等丰度主要来源于大爆炸的核合成过程,则重子密度不能太大,而应与星系中的含量差不多^[2]。

因此,重子所构成的各种物质,可能不是不可视物质的主要贡献者。近年的研究开始转向非重子类型的不可视物质。迄今已经讨论过的主要有下列一些类型。

1. 静质量不为零的中微子

中微子在宇宙中的含量很大。中微子只参与弱相互作用,在宇宙中的含量很大。中微子只参与弱相互作用,在宇宙温度 $T \sim 10^{10}K$ 之前,它已脱耦。脱耦之后的中微子,与其他成分的物质之间,只存在引力相互作用。中微子之间也极少有弱相互作用过程发生,故中微子与反中微子之间并不湮没。因而,至今中微子的数密度与3K背景辐射的光子差不多,即比重子数密度大 $10^8 \sim 10^{10}$ 倍。所以,只要中微子具有数电子伏以上的静质量,中微子的总质量就会超过重子成分而成为宇宙中的质量的主要贡献者^[4]。

表2中列举了有关的平均质量密度值,其中 ρ_ν , ρ_r 及 ρ_B 分别表示中微子、光子及重子成分的密度。 m_ν , g_r 为中微子的静质量(以电子伏为单位)及自旋态数。 η 定义为

$$\eta = \frac{n_B}{n_r} \times 10^{10}$$

其中 n_B , n_r 是现今的重子的及光子的数密度。可见,如果 $m_\nu \sim 10\text{eV}$,则早在复合时期之前,

表 2 各种成分的平均质量密度(克/厘米³)

成 分	$T \sim 4000\text{K}$	$T \sim 2.7\text{K}$
ρ_v	$5.7 \times 10^{-20} \left(\frac{g_v}{6}\right) \left(\frac{m_v}{30}\right)$	$1.7 \times 10^{-29} \left(\frac{g_v}{6}\right) \left(\frac{m_v}{30}\right)$
ρ_r	2.15×10^{-21}	4.47×10^{-34}
ρ_B	$1.1 \times 10^{-21} (\eta/5)$	$3.3 \times 10^{-31} (\eta/5)$

中微子成分就已成为主导成分，其质量密度比重子成分大十倍以上。

2. 光微子

光微子是超对称理论的一个预言^[5]。这种对称性要求相应的玻色子与费米子属于同一多重态。这样，如果超对称是严格保持的，则已知的玻色子也应有它所相应的费米子。例如，电子应有它所相应的标量粒子，其质量与电子相同。在实际世界中，并没有这种标量粒子，故现今的宇宙中超对称必定是已破缺的。这样，电子的标量对应物可能具有较高的质量，以致现在还不能观测到它。

按照超对称，光子应有它的费米对应物，这种费米子就是光微子。由对称性的破缺，这种粒子也可能是静质量不为零的。另外，由于至今尚未探测到光微子，所以，它们与其他成分的作用可能是极弱的，故若光微子存在，它们可能在宇宙的极早期就已脱耦，脱耦温度可能为1Mev，也可能高达 200Mev(目前的理论还不能给出具体的预言)。因此，只要光微子具有数十或数百电子伏的静质量，则其作用就与静质量不为零的中微子相似，成为不可视物质的主要贡献者^[6]。

3. 原初黑洞

宇宙间不可能有太多的由恒星演化而形成的黑洞，否则星系会有极快的光度演化，就将与观测相矛盾。但是，宇宙早期或极早期所生成的黑洞并不会带来这个矛盾。特别是极早期产生的原初黑洞，对核合成之后的宇宙没有大的影响，因此，这种原初黑洞也可能是不可视物质的一种来源。

估计中微子或光微子对质量的贡献，只要知道脱耦温度以及有关的静质量就可以了。估计原初黑洞对质量的贡献则是相当困难的。因为黑洞的生成率决定于宇宙极早期的密度非均匀性。非均匀性小，则黑洞生成少，非均匀性大，则黑洞生成多。对于早期宇宙中的非均匀性，现在还没有可靠的理论，因此目前还难于估计原初黑洞的产生数量。最近，对原初黑洞的生成引起兴趣，是由于宇宙相变理论的刺激。

弱电统一及大统一理论中都有对称性自发破缺机制。这将导致真空态的相变。在高温时，对称性恢复，在低温时，对称性破缺，这是一种相变。相变可能是一级的，也可能是二级的。相变过程中非均匀性有较大的增长，因此有可能生成较多的原初黑洞。例如，若相变是一级的，在相变时将形成泡状结构，泡内外属于不同的相，当泡膨胀并相互碰撞时，就可能产生黑洞^[7]。利用Weinberg-Salam 的弱电统一理论估计，在弱电相变时期可能有相当一部分质量塌缩而形成原初黑洞，其质量约10³⁰克。

4. 磁单极子

磁单极子的存在也是大统一理论的一个预言。磁单极子是许多领域共同关心的问题。从

宇宙学角度看, 它也是不可视物质的一种可能的形态。当然, 磁单极子是参与电磁相互作用的, 原则上可以发射电磁辐射, 不过, 大统一理论预言它的质量极大, 约为质子的 10^{16} 倍, 因此发射电磁辐射的效率很低。

已经有许多证据表明磁单极子的数目不可能太多, 它的数密度至少比重子的数密度小 13 个量级。尽管如此, 磁单极子仍可能对宇宙物质的质量有大的贡献, 因为它的质量极大。实际上, 即使磁单极子的数密度只及重子的 10^{-16} , 它的总质量仍可与重子相比拟。1982 年, Cabrera 宣布记录到一个可能是磁单极子的事件^[8], 更加引起了人们对种粒子的宇宙学效应的关注。

三、不可视物质的分布

不可视物质的分布不能用观测方法直接得知, 因为它们不是直接可观测的。但是通过可视天体上的一些“反常”表现, 不但可以推知不可视物质的存在, 而且可以得到有关它们的分布的知识。这种方法在天文学中是不陌生的, 海王星的发现可以看作一个例子, 海王星的存在和它的一些性质, 最初并不是由直接的观测得到的, 而是由天王星运行中的“反常”而推知的。类似地, 我们也可以从可视天体的运行和分布中寻找不可视天体的踪迹。

1. 星系团质光比

如第一节所述, 星系团的质光比要比单个星系的大数十倍^[9], 这说明, 星系团中可视物不可视物质的质量比约高达 1:10, 还说明, 不可视物质的分布至少在星系尺度上要比可视物质的分布更加均匀。

2. 星系转动曲线的平性^[10]

对旋涡星系的转动曲线的射电观测, 进一步支持了上述的理论。利用 21 厘米线所得到的星系转动曲线, 在星系的 Holmberg 半径之外的相当大范围内, 具有平坦的形状, 即转动速变保持恒定的数值。这表明, 星系具有大质量的晕, 它比星系 Holmberg 半径之内的质量要大一倍以上。暗晕的质量分布与星系发光部分的分布显然不同, 后者在 Holmberg 半径之外是指数下降的, 前者的分布则较为平坦。

3. M87 的 X 射线发射与暗晕^[11]

最近, 对 M87 的 X 射线观测证明, 它的积分质光比直到径向距离 400 kpc 处仍在增加, 具体数值是, 在径向距离 4.4 kpc 处, 质光比约为 5—15, 到 87 kpc 处, 增加到 180, 在 87 kpc 之内质量约为 $(1.2 - 1.9) \times 10^{13} M_{\odot}$, 在 260 kpc 之内质量则有 $(3 - 6) \times 10^{13} M_{\odot}$ 。这直接证明, M87 周围存在大质量的暗晕, 其分布也是较发光部分的分布更为平坦。

4. 3K 背景辐射的偶极各向异性

在星系团尺度、或更大尺度上, 不可视物质的分布也不与可视天体成比例。3K 背景辐射中的偶极各向异性, 标志着本星系群相对于哈勃流的偏离。因为本星系群处在室女星系团的周围。所以, 如若在室女星系团尺度上不可视物质的分布比例于可视天体, 则本星系群偏离哈勃流的速度取向最可能是指向室女星系团。然而实际测量结果该速度并不指向室女星系团, 而有 40° 的偏离^[12, 13]。这可能表示, 不可视物质的分布并不比例于星系团, 本星系群的速度

方向是决定于这些不可视物质的集中处。当然,上述 40° 的偏离也可以解释为本星系群相对于室女星系团有转动,不过至今还没有其他的证据说明这种转动。

5. 星系哈勃图的小弥散

选择各种不同的标准烛光天体,已建立了一系列相关性很好的哈勃图^[14]。它们的红移铺展在很大的范围上,从 $Z \sim 0.02$ 直到 $Z \sim 0.5$ 。这些哈勃图有一个共同的性质,样品点相对于哈勃关系的弥散是很小的。

造成弥散的原因有两种,一是标准烛光天体的光度弥散,一是这些天体偏离哈勃流的速度弥散。前者可以用标准烛光天体的光度函数加以估计。因此,从哈勃图上的弥散扣除光度弥散的贡献就可以求得偏离哈勃流的速度弥散。其结果如下:

$$v < 500 \text{ km/s}, \quad \text{当 } Z \sim 0.01$$

$$v < 300 \text{ km/s}, \quad \text{当 } Z \sim 0.005$$

$$v \sim 100 \text{ km/s}, \quad \text{近邻区}$$

Tammann Sandage 及 Yahil 甚至还给出过更小的值,例如 $v \sim 50 \text{ km/s}$ 或 25 km/s ^[15]。

如此小的弥散速度与近年发现的大尺度非均匀性是难于协调的。因为,密度分布的非均匀性越强,则偏离哈勃流的弥散速度也应越大。上述的弥散速度一般是小于密度非均匀性所要求的数值的。

表 3 中列举出一些已知的超星系团的基本数据^[16],其中 $a:b$ 表示超团的扁平方向的尺度与其厚度之比, v 表示弥散速度。由表可见,这里的弥散速度值要比从哈勃图中得到的大一些。实际上,表中所列的结果还并不是基于维里定理,或塌缩动力学得到的,后两者数值更大,即与哈勃图的估计偏离更大。

随着星系红移巡天的进展,用统计方法可比较一般地证明,星系的分布在数十 Mpc 的尺度上似仍然是非均匀的。对类星体的分布的研究,也表明可能存在着大尺度的非均匀结构^[17,18]。所有这些结果都在不同程度上加剧了哈勃图上小弥散所带来的困难。

这个问题同样可用不可视物质的存在加以解决。如果不可视物质是质量的主要贡献者,而且它们的分布较可视天体均匀,则用可视天体的非均匀性所求得的弥散速度或偏离哈勃流的速度要比实际的偏大。换言之,均匀分布的大质量的不可视成分的存在,可以压低弥散速度

表 3 超星系团的基本数据

名 称	距 离	$a:b$	$v(\text{km/s})$
本地	20	6:1	~ 350
South-gal. Chain	28	6:1	300
Cloud A	50	4:1	~ 800
Cloun C	70	1.5:1	—
Hydra-Centaurus	58	4:1	440
Perseus	100		~ 400
Coma	136	4:1	300
Hercules	200		—
1451+32	694	2:1	480
1615+43	810	2:1	720

的数值。

6. 背景辐射的各向异性

在复合时期之后, 背景辐射的演化只决定于宇宙中的引力场性质。若有较强的成团过程, 即形成的非均匀性较大, 则在辐射传播过程中要受到成团天体的较强的引力弯曲作用, 即可能形成较强的各向异性。因此, 根据微波背景辐射的各向异性可以给出复合时期之后密度分布的非均匀性的一个上限^[19]。其结果是:

$$\delta < 2 \times 10^{-3} \left(\frac{\lambda}{10 \text{ Mpc}} \right)^{-3/2} \left(\frac{H_0}{100} \right)^{-3/2} \Omega_0^{-1} \left(\frac{\Delta\theta}{1^\circ} \right) \left(\frac{\Delta T/T}{10^{-4}} \right)$$

其中 λ 表示成团的尺度, $\Delta\theta$ 为观测分辨率, $\Delta T/T$ 为角 $\Delta\theta$ 上的温度各向异性。 δ 为密度非均匀性的度量, 它定义为

$$\delta = \int (\rho(x) - \bar{\rho}) e^{i2\pi x/\lambda} dx / \bar{\rho}$$

其中 $\rho(x)$ 及 $\bar{\rho}$ 分别为密度分布函数及平均密度。

由此可见, 如果宇宙处于开放和封闭之间的临界状态, 即宇宙的平均质量密度 $\Omega_0 \sim 1$, 则尺度等于或大于10Mpc的非均匀性必定是很小的。

总之, 种种观测现象都一致地暗示着, 不可视物质的总质量可能比可视天体大得多, 它们是宇宙质量的主导成分, 可视天体的分布, 直到约100Mpc的尺度上都有较明显的非均匀性, 而不可视物质的分布则至今还是相当均匀的。

四、不可视物质的成团

上节的分析结果给理论工作提出了一个问题: 可视物质与不可视物质在分布上的差异是如何形成的? 为什么可视物质在各种尺度上都有成团, 特别是在小尺度上有明显成团, 而不可视物质却没有?

成团的机制当然主要是Jeans不稳定性, 至少在成团的初期阶段是如此。但是, 仅仅从Jeans波长的性质, 并不能说明上述的差异。已知, 在引力耦合的两成分流体中, Jeans不稳定性的临界波长(即Jeans波长) λ_J 满足下列公式^[20]:

$$\frac{1}{\lambda_J^2} = \frac{1}{\lambda_{1J}^2} + \frac{1}{\lambda_{2J}^2}$$

其中 $\lambda_{1J}^2 = v_{1s}^2 \pi / G \lambda_1^{(0)}$, $\lambda_{2J}^2 = v_{2s}^2 \pi / G \rho_2^{(0)}$, 分别是成分1及2中的Jeans波长, 而 $\rho_1^{(0)}$, $\rho_2^{(0)}$ 及 v_{1s} , v_{2s} 是相应的基态密度和弥散速度。按照这个理论, 所有 $\lambda > \lambda_J$ 的密度扰动模式都是增长的, 而 $\lambda < \lambda_J$ 的情况, 则总是形成波动或衰减而消失。这个结论对两种成分中的扰动都适用, 因而不足以解释两种成分的不同成团。

1. 四种时标

深入一步的理论要求考虑各种时标之间的关系。在两成分宇宙中, 对于尺度为 l 的密度扰动来说, 有四个相关的时标^[21], 即成分1及2中的衰减时标, 分别是

$$t_d^1 \sim l / v_{1s}, \quad t_d^2 \sim l / v_{2s}$$