

分类号 \_\_\_\_\_

密级 \_\_\_\_\_

UDC \_\_\_\_\_

编号 \_\_\_\_\_

# 中国科学院研究生院 理学博士学位论文

## 超对称暗物质研究

王 飞

指导教师 杨金民 研究员

中国科学院理论物理研究所

申请学位级别 理学博士 学科专业名称 理论物理

论文提交日期 2006年5月 论文答辩日期 2006年6月

培养单位 中国科学院理论物理研究所

学位授予单位 中国科学院研究生院

答辩委员会主席 张肇西 研究员

Typeset by L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 2 $\epsilon$  at August 1, 2007

With package CASt<sub>h</sub>esis v0.1 of C<sub>T</sub>E<sub>X</sub>.ORG

# Supersymmetric Dark Matter

**Fei Wang**

Supervisor:

Prof. Jin Min Yang

Institute of Theoretical Physics

Chinese Academy of Sciences

August, 2007

*Submitted in total fulfilment of the requirements for the degree of Ph.D.  
in Theoretical Physics*



## 摘 要

标准模型的理论预言和粒子物理实验的惊人符合标志着在一定层次上标准模型是描述自然界的正确规律。但是标准模型存在的各种问题表明它可能只是一种正确的低能有效理论。例如,在标准模型的框架下没有合适的暗物质候选者。超对称模型作为一种很优美的新物理理论,可以自然提供暗物质的候选者。所以超对称暗物质的研究最近成为国际研究的热点之一。最近几年我们在超对称暗物质方面作了如下的研究工作:

- 我们给出了超弱相互作用的暗物质对最小超引力模型参数空间的限制。超弱相互作用的暗物质—这里是引力微子 (gravitino)—是最小超引力模型给出的一种很自然的暗物质候选者。我们使用相关的轻核天文观测数据对次轻超对称粒子的寿命和衰变产物进行限制,给出了最轻和次轻超对称粒子的质量上下限。进一步,使用WMAP关于暗物质残余量的数据可以对最小超引力的参数空间以极大的限制。我们发现低 $\tan\beta (< 40)$ 的区域的参数空间被限制到很小的部分。加上其它的实验限制, $\mu < 0$ 的部分几乎被排除掉。
- 我们提出了能标分离的超对称(Split SUSY)解释暗物质的一种新可能性。能标分离的超对称放弃了解决等级性问题的要求,只要求超对称提供足够的暗物质及满足成功的规范耦合大统一。我们提出能标分离超对称质量谱的一种新的可能性—gluino作为最轻的gaugino。它可以通过晚期衰变到gravitino提供暗物质。使用WMAP的数据,我们可以得到gluino的质量下限为14TeV。同时这种质量谱还可以满足规范耦合大统一的要求。这种可能性在能标分离超对称下才比较自然。
- 我们探讨了能标分离的超对称下,neutralino暗物质对相关参数的限制及其在对撞机上的观测效应。通过暗物质的限制可以给出Split SUSY参数的限制及某些类型超对称粒子的质量上限。我们得出在 $M_2 = 2M_1$ 时,chargino质量必

须小于1TeV。在其它的情况下如 $M_1$ 很大, $M_2$ 很大或者 $\mu$ 很大时, chargino质量小于2-3TeV。最后我们研究了在未来对撞机LHC和ILC上chargino的产生截面。在LHC上,某些参数取值可以给出chargino的产生率大于1pb;在ILC上,参数空间的部分区域给出chargino产生截面大于100fb。其它的区域产生截面很小。这表明Split SUSY在未来对撞机上不一定会被发现。

- 我们研究了超对称模场凝聚所形成Q-球的晚期衰变效应。为了解释自然界暗物质和重子类物质具有相同量级的巧合,我们使用晚期衰变的Q-球来表明暗物质的产生和重子类物质的产生有着共同的根源。我们用Q-球的衰变产物gravitino来提供暗物质,同时使用L-球来解释轻核元素丰度的问题;我们使用重子类型的Q-球给出一种新的核合成过程,这可以较好的改进BBN预言和实验观测的符合程度。

通过前面关于超对称暗物质方面的研究,我们可以为对撞机上发现新物理提供某些线索,同时我们的研究也对天体物理的一些有争议的问题给出可能有意义的解答。

**关键词:** 超对称暗物质; 重子合成机制.

## 发表文章目录

- [1] Supersymmetric effects in top quark decay into polarized W-boson,  
J. Cao, R. J. Oakes, Fei Wang, J. M. Yang  
Phys. ReV. D68 (2003) 054019
- [2] SuperWIMP dark matter scenario in light of WMAP,  
Fei Wang, Jin Min Yang,  
Eur. Phys. J. C38 (2004) 129
- [3] Late-decaying Q-ball with BBN lifetime,  
Fei Wang, Jin Min Yang,  
Nucl. Phys. B709 (2005) 409
- [4] Gravitino dark matter from gluino late decay in split supersymmetry,  
Fei Wang, Wenyu Wang, Jin Min Yang,  
Phys. ReV. D 72, 077701 (2005)
- [5] Dark Matter Constraints on Gaugino/Higgsino Masses in Split Supersymmetry and Their  
Implications at Colliders,  
Fei Wang, Wenyu Wang, Jin Min Yang,  
Eur. Phys. J. C46 (2006) 521
- [6] Some studies on dark energy related problems,  
Fei Wang, Jin Min Yang,  
Eur. Phys. J. C45 (2006) 815
- [7] Split Two-Higgs-Doublet Model and Neutrino Condensation,  
Fei Wang, Wenyu Wang, Jin Min Yang,  
Europhys. Lett. 76 (2006) 388
- [8] Virtual Effects of Split SUSY in Higgs Productions at Linear Colliders,  
Fei Wang, Wenyu Wang, Fuqiang Xu, Jin Min Yang, Huanjun Zhang,  
hep-ph/0612273, to appear in Eur. Phys. J. C



## 致 谢

不知不觉,几年的学习生活即将结束。回忆这几年在理论物理所成长的岁月,感觉自己很幸运能够在理论物理所开始自己的学术生涯,也很庆幸自己在成长过程中得到了很多人的帮助。

首先我很感谢我的导师杨金民研究员。他对问题本质的敏锐洞察,对物理学前沿进展的迅速把握以及他严谨的治学态度都给我留下了深刻的印象。在生活上,杨老师对我的悉心关怀和支持使我可以顺利的进行研究工作。在工作中,杨老师的悉心指导使我很快进入了前沿领域。他的民主作风以及他良好科研习惯的熏陶使我可以对物理学体系有比较整体的把握,并且能够真正深入到自己的研究领域中。永远难忘和杨老师在一起修改文章时的情形。

我要感谢张元仲研究员和蔡荣根研究员。在引力组的讨论使我受益匪浅。同时他们在科研态度及科研方法上的教导,使我在由学习到科研这一关键性转变过程中少走了不少弯路。

我也要感谢朱重远研究员和刘纯研究员。他们在我工作过程中的帮助和讨论,使我澄清了一些物理概念并对不少问题有了更深入的认识。

我还要感谢张肇西研究员在科研学习中多方面的关心和指导。感谢李小源研究员,关于有效理论的启示帮助我在工作中认识到其重要意义;感谢郭汉英研究员,关于De-Sitter空间相对论的叙述使我对狭义和广义相对论有了新的看法;感谢高怡泓研究员,多次精采的讲课使我对超对称有了更进一步的认识;感谢朱传界研究员,组织的几次讨论使我对超弦相关的进展有了新的认识。感谢黄朝商研究员,吴岳良研究员,马建平研究员,喻明研究员,李淼研究员,陈裕启研究员的帮助和讨论,感谢邝宇平教授,李重生教授,何红建教授,高原宁教授,王青教授,朱守华教授的精采报告。

我也很感谢数学院的马玉杰研究员和邓映蒲研究员的关心。马老师在学习上和前沿讨论班中的帮助使我对数学物理的部分领域有了新的体会,帮我了解某些数学工具在物理中的新应用。

我也感谢我大学老师时万忠教授和马光文教授,他们在我科研启蒙时期及后来的科研工作中的鼓励使我对工作充满了信心和热情。

感谢欧阳钟灿所长,郭玲老师的关心以及为我学习和生活提供的方便。

感谢我的师兄弟曹俊杰,高广平,柳国丽,王雯宇,徐富强在工作中的讨论和帮助。感谢李玉奇,贺晓涛,郭宗宽,曾定方,韦浩在工作中先后的帮助;感谢左亚兵和苏荀在学术上和政治问题的深入讨论,使我的世界观和方法论有了某些改变;感谢李恒,柴彦,张欣,高雷,陆汉涛,黄庆国,熊爱民,郭媛媛,白永强,刘震,钟鸣,马永亮,杨岚斐,殷复荣,王琦,张宏升,魏韧,徐卫水,桑华正,庞大伟,余建黄,崔建伟,牟维华,李有为,刘昌勇,张益,李丽,周杰等在学业上的讨论以及生活上的愉快相处。

最后感谢我的父母和姐姐对我长期求学和研究工作的理解和一如既往的支持。由于他们的关心和鼓励,才使我今天可以完成全部的学业。

以曹操的〈短歌行〉明志。

## 短歌行

对酒当歌，人生几何？譬如朝露，去日苦多。

慨当以慷，忧思难忘。何以解忧，唯有杜康。

青青子衿，悠悠我心。但为君故，沉吟至今。

呦呦鹿鸣，食野之苹。我有嘉宾，鼓瑟吹笙。

明明如月，何时可掇。忧从中来，不可断绝。

越陌度阡，枉用相存。契阔谈宴，心念旧恩。

月明星稀，乌鹊南飞。绕树三匝，何枝可依？

山不厌高，海不厌深。周公吐哺，天下归心。