

ВЫЯВЛЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК С ТЕМНОЙ МАТЕРИЕЙ В РЯДЕ СКОПЛЕНИЙ СЕВЕРНОГО ГАЛАКТИЧЕСКОГО ПОЛУШАРИЯ

Т.М.БОРЧХАДЗЕ¹, Н.Г.КОГОШВИЛИ¹, А.Т.КАЛЛОГЛЯН²

Поступила 29 марта 2017

Основываясь на данных Сводного Каталога Галактик (MERCG), изучены динамические характеристики спиральных галактик с абсолютной величиной $M \geq -20^m$ в скоплениях Персей, A779, Комы и в формации Great Wall. Диаметры галактик из MERCG каталога использовались для определения радиуса R_D , рассматриваемого как область возможной концентрации темной материи. Основываясь на условии центробежного равновесия вычислялись динамические параметры спиральных галактик M_{dm} и M_{dm}/L_B . Выводы теории передачи углового момента позволили оценить центральную поверхностную плотность μ_0 и угловой момент K звезд в спиральных галактиках. Сравнение динамических параметров спиральных галактик с $M \geq -20^m$ и $M \leq -20^m$ показало статистически значимое уменьшение числа спиральных галактик с большей долей темной материи с $M \geq -20^m$. Для рассмотренных скоплений получены следующие значения: Persey (35.3%), A779 (17.4%), Coma (12.6%) и в формации Great Wall (23.6%).

Ключевые слова: *скопления галактик; темная материя; динамические параметры*

1. Введение. Природа темной материи продолжает привлекать внимание исследователей как на основании наблюдений спиральных галактик, так и при изучении данных о характеристиках спиральных галактик, собранных в каталогах галактик и, в частности, в Сводном Каталоге Галактик (MERCG) [1], основанном на данных каталогов: RCBG, Вокулер и др. [2], МКГ Воронцов-Вельяминов и др. [3], а также данных других каталогов и списков галактик с общим числом около 40000 галактик.

Корреляция между светимостью и кривой скорости вращения спиральных галактик рассматривалась в [4] в качестве свидетельства существования в них темной материи. Авторы [5] отметили различие в профиле кривых скорости вращения спиральных галактик в зависимости от их светимости. Персик и Салукси [6,7] считают определяющим крутой профиль в кривой скорости вращения спиральных галактик низкой светимости с существованием в них большей доли темной материи. В то же время, авторы [6,7] вывели выражения для оценки динамических параметров спиральных галактик низкой светимости

с использованием B_r величин в RCBG каталоге.

2. Выборки галактик. При изучении динамических параметров спиральных галактик в качестве предельного значения светимости для галактик низкой светимости мы принимаем условно значение $M_B = -20^m.6$, основанное на постоянной Хаббла $H_0 = 75$ км/с/Мпк, которое соответствует абсолютной величине спиральной галактики N4321, характеризуемой крутым ростом кривой скорости вращения, типичной для спиральных галактик низкой светимости, в которых предполагается большая доля темной материи (рис.4 в [6,7]). Значение постоянной Хаббла принято равным $H_0 = 75$ км/с/Мпк, близкую к значению 74.2 км/с/Мпк, измеренную в [8] на основе наблюдений, выполненных на Хаббловском космическом телескопе. Интересно, что спиральная галактика N4321 в RCBG каталоге Вокулера [2] отмечена как N4321(c). Согласно Вокулеру [9], Sc галактики характеризуются мощными спиральными ветвями с голубыми гигантами и сверхгигантами, в то время как ядра этих галактик малы и в их излучении преобладают спиральные ветви. Среднее значение показателя цвета спиральных галактик Sc оценивается как: $B - V = 0.55$ и $U - B = -0.1$.

В качестве спиральных галактик низкой светимости с $M \geq -20^m.6$ мы используем галактики с морфологическим описанием типа Sc, Sbc или Scd с предполагаемой в них большей доли темной материи по данным RCBG каталога Вокулера [2]. Основное требование к профилю (форме) кривой скорости вращения спиральных галактик низкой светимости, согласно [6,7], мы заменяем статистической работой с каталогами галактик, а именно с выделением и подсчетами спиральных галактик низкой светимости типа Sc, Sbc, Scd в качестве спиральных галактик с темной материей с $M_B \geq -20^m.6$.

Отметим также, что абсолютные величины галактик определялись нами на основе использования видимой величины B_T^0 , исправленной за галактическое и внутреннее поглощение в RCBG каталоге [2]. Каталог MERCG содержит 3823 спиральных галактик с B_T^0 величинами.

В настоящей работе мы изучаем динамические характеристики спиральных галактик низкой светимости с $M \geq -20^m.6$ в скоплениях: Persey, A779, Coma, Great Wall.

3. Основные типы спиральных галактик в скоплениях Persey, A779, Coma, Great Wall и их характеристики. Изучены характеристики спиральных галактик в скоплении PERSEY в пределах координат $\alpha = 2^h 30^m \pm 3^h 30^m$ и $\delta = 34^\circ \pm 47^\circ$ с лучевой скоростью в пределах 4200 ± 6400 км/с с общим числом галактик 91.

В 1-й строке табл.1 приводится число спиральных галактик низкой светимости с средним значением абсолютной величины $M \geq -20^m.6$ с ошибками и с средним диаметром с ошибками в скоплении PERSEY, а во 2-й строке

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК В
СКОПЛЕНИЯХ PERSEY, A779, COMA И GREAT WALL

PERSEY	$M \geq -20^m.6$	-20.14 ± 0.44	17	21.4 ± 6.8
PERSEY	$M \geq -20^m.6$	-20.30 ± 0.25	6	26.4 ± 9.3
A779	$M \geq -20^m.6$	-20.03 ± 0.45	46	43.9 ± 15.1
A779	$M \geq -20^m.6$	-20.50 ± 0.12	8	30.9 ± 5.2
Coma	$M \geq -20^m.6$	-19.93 ± 0.45	95	21.1 ± 6.5
Coma	$M \geq -20^m.6$	-20.15 ± 0.22	12	30.2 ± 4.7
GR.WALL	$M \geq -20^m.6$	-19.96 ± 0.51	55	22.9 ± 7.9
GR.WALL	$M \geq -20^m.6$	-19.90 ± 0.51	13	27.0 ± 5.5

- число (6) спиральных галактик с предполагаемой темной материей с средним значением абсолютной величины $M \geq -20^m.6$ с ошибками, которые выделялись по типу Sc, Sbc или Scd галактик, согласно Вокулер [2], из числа спиральных галактик низкой светимости.

Аналогичным образом, рассмотрены параметры спиральных галактик в скоплении A779 с координатами $\alpha = 11^h 50^m + 12^h 30^m$ и $\delta = 20^\circ \div 30^\circ$ и с лучевыми скоростями в пределах $V = 4000 \div 8000$ км/с с общим числом галактик - 97.

В 3-й строке таблицы приводится число спиральных галактик низкой светимости со средним значением абсолютной величины с ошибками $M \geq -20^m.6$ и средним диаметром с ошибками в скоплении A779. В 4-й строке - число (8) спиральных галактик с предполагаемой темной материей и со средним значением абсолютной величины $M \geq -20^m.6$ с ошибками, выделенными по типу Sc, Sbc или Scd, согласно [2].

В свою очередь, изучены параметры спиральных галактик в скоплении COMA с координатами $\alpha = 12^h 30^m + 13^h 30^m$ и $\delta = 20^\circ + 40^\circ$ и с $V = 4000 \div 9000$ км/с с числом галактик 231.

В 5-й строке приведено число спиральных галактик низкой светимости со средним значением абсолютной величины с ошибками ($M \geq -20^m.6$) и со средним диаметром с ошибками в скоплении COMA. В 6-й строке (12) число спиральных галактик с предполагаемой темной материей и со средним значением абсолютной величины ($M \geq -20^m.6$), выделенных по типу Sc галактик в соответствии с [2].

Наконец, рассмотрены параметры спиральных галактик в формации GREAT WALL в пределах области с $\alpha = 13^h + 17^h$ и $\delta = 25^\circ \div 45^\circ$ и с $V = 4500 \div 6500$ км/с с числом галактик 109. В 7-й строке таблицы представлено число спиральных галактик низкой светимости с их средним значением абсолютной величины с ошибками ($M \geq -20^m.6$) и средним диаметром с ошибками. В 8-й строке приводится число (13) спиральных галактик с предполагаемой темной материей

и со средним значением абсолютной величины ($M \geq -20^m.6$) с ошибками, выделенных на основе описаний типа Sc, согласно [2].

В 1, 3, 5 и 7-х строках таблицы для галактик скоплений PERSEY, A779, COMA, GREAT WALL приводятся числа спиральных галактик низкой светимости вместе со значениями средней абсолютной величины ($M \geq -20^m.6$) со средней ошибкой и их средним диаметром с ошибкой.

Во 2, 4, 6 и 8-й строках таблицы для галактик скоплений PERSEY, A779, COMA, GREAT WALL приводятся числа галактик низкой светимости,

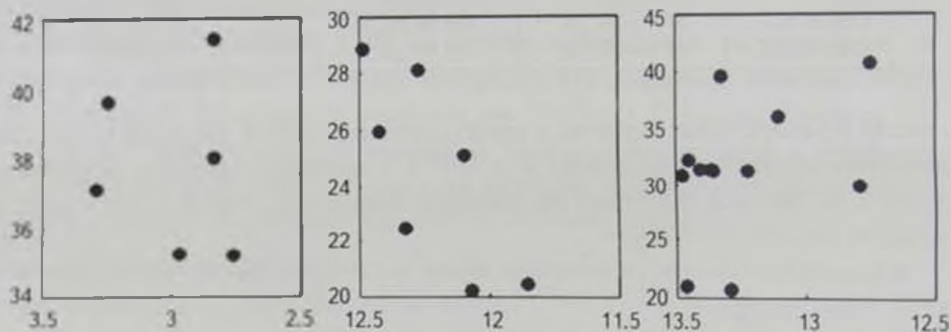


Рис.1. Спиральные галактики с темной материей в скоплениях (слева направо) COMA, A779 и PERSEY. α - по оси абсцисс в долях часа и δ - по оси ординат (здесь и далее координаты 2000).

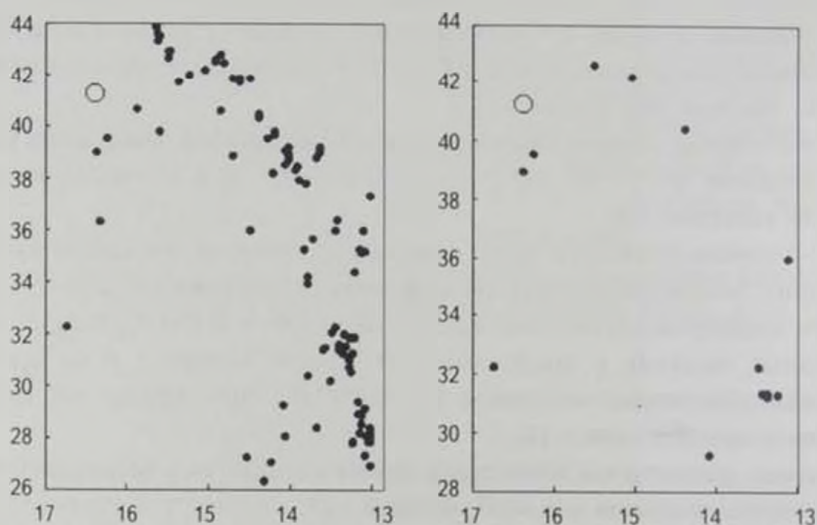


Рис.2. Спиральные галактики с темной материей для формации GREAT WALL, выходящей из Coma в сторону скопления A2197: слева - все спиральные галактики в диапазоне лучевых скоростей 4500-6500 км/с, справа - спиральные галактики с темной материей в том же диапазоне. Местоположение A2197 отмечено кружочком.

выделяемых по типу Sc галактик с описанием типа Sc, Sbc, Scd, согласно [2], в качестве галактик с предполагаемой большей долей темной материи вместе с их средним значением абсолютной величины и средним диаметром с ошибками (см. рис.1).

Отметим также, что основное требование к профилю кривой вращения спиральных галактик низкой светимости мы заменяем во всех изучаемых скоплениях выделением спиральных галактик типа Sc, Sbc и Scd (см. рис.2, справа).

4. *Динамические характеристики спиральных галактик в скоплениях Persey, A779, Coma, Great Wall.* Используя условие центростремительного равновесия, согласно [6,7], мы выразили динамическую массу M_{dyn} спиральных галактик в функции светимости L_B в единицах массы Солнца. На основе средних диаметров спиральных галактик были вычислены области $R_D = R_{90}/3.2$, в которых возможна максимальная концентрация темной и светлой материи. Основываясь на условии центростремительного равновесия в единицах массы Солнца, вычислялись значения M_{dyn} и M_{dyn}/L_B . Выводы теории передачи углового момента позволили нам оценить центральную поверхностную плотность μ_0 и полный угловой момент K .

В табл.2 приводятся динамические параметры для 30-ти ярких спиральных галактик с $M \leq -20^m.6$ и 6-ти спиральных галактик с $M \geq -20^m.6$ с предполагаемой темной материей в скоплении PERSEY.

Таблица 2

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК В СКОПЛЕНИИ PERSEY

Параметр	Сп. гал. с $M \geq -20^m.6$	N	Сп. гал. с $M \leq -20^m.6$	n	T	$1 - P(t)$
M	-20.30 ± 0.25	6	-21.34 ± 0.45	30	7.7	$< 10^{-7}$
M_{dyn}/L_B	3.59 ± 0.07	6	3.30 ± 0.13	30	7.8	$< 10^{-7}$
μ_0	0.0083 ± 0.0002	6	0.0077 ± 0.0001	30	7.2	$< 10^{-7}$
K	887 ± 307	6	5697 ± 536	30	30.2	$< 10^{-7}$

В табл.3 приводятся динамические параметры для 15-ти ярких спиральных галактик, а также для 8 спиральных галактик с предполагаемой темной материей в скоплении A779.

В табл.4 приводятся динамические параметры для 41-й яркой спиральной галактики, а также для 12 слабых спиральных галактик с предполагаемой темной материей в скоплении СОМА.

В табл.5 приводятся динамические параметры для 20-ти ярких спиральных галактик, а также для 13 спиральных галактик с предполагаемой темной

Таблица 3

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПИРАЛЬНЫХ
ГАЛАКТИК В СКОПЛЕНИИ A779**

Параметр	Сп. гал. с $M \geq -20^m.6$	N	Сп. гал. с $M \leq -20^m.6$	n	T	$1 - P(t)$
M	-20.5 ± 0.12	8	-21.09 ± 0.32	15	6.4	$<10^{-7}$
M_{20}/L_B	3.53 ± 0.03	8	3.37 ± 0.09	15	6.3	$<10^{-7}$
μ_0	0.008 ± 0.0001	8	0.0077 ± 0.0001	15	6.9	$<10^{-7}$
K	1151 ± 191	8	3221 ± 514	15	13.9	$<10^{-7}$

Таблица 4

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК
В СКОПЛЕНИИ СОМА**

Параметр	Сп. гал. с $M \geq -20^m.6$	N	Сп. гал. с $M \leq -20^m.6$	n	T	$1 - P(t)$
M	-20.15 ± 0.22	12	-21.09 ± 0.28	41	12.2	$<10^{-7}$
M_{20}/L_B	3.63 ± 0.06	12	3.37 ± 0.08	41	12.2	$<10^{-7}$
μ_0	0.0083 ± 0.0002	12	0.0077 ± 0.0001	41	10	$<10^{-7}$
K	705 ± 260	12	1454 ± 534	41	6.7	$<10^{-7}$

материей в формации GREAT WALL. В табл.2-5 даны динамические параметры M_{20}/L_B , μ_0 и K для галактик с предполагаемой темной материей и для ярких спиральных галактик в скоплениях PERSEY, 779, COMA, GREAT WALL. Средние значения и дисперсия динамических параметров M_{20}/L_B и μ_0 приведены в единицах массы Солнца $2 \cdot 10^{11} M_{\odot}/\text{кпк}^2$, а K - в единицах $2 \cdot 10^{11} M_{\odot}/\text{кпк км/с}$ для ярких спиральных галактик с $M \leq -20^m.6$ и для слабых спиральных галактик с $M \geq -20^m.6$ в скоплениях PERSEY, A779, COMA, GREAT WALL. Все вычисленные параметры сравнивались по критерию Стьюдента, свидетельствуя о большей доле темной материи в спиральных галактиках с $M \geq -20^m.6$ в сравнении с яркими спиральными галактиками с $M \leq -20^m.6.5$.

Таблица 5

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК
В ФОРМАЦИИ GREAT WALL**

Параметр	Сп. гал. с $M \geq -20^m.6$	N	Сп. гал. с $M \leq -20^m.6$	n	T	$1 - P(t)$
M	-19.9 ± 0.51	13	-20.98 ± 0.30	20	6.9	$<10^{-7}$
M_{20}/L_B	3.70 ± 0.11	13	3.40 ± 0.08	20	8.5	$<10^{-7}$
μ_0	0.0085 ± 0.0003	13	0.0078 ± 0.0001	20	8.1	$<10^{-7}$
K	531 ± 267	13	2680 ± 1580	20	6.0	$<10^{-7}$

5. *Обсуждение результатов.* Отметим, что 17 спиральных галактик низкой светимости с $M \geq -20^m.6$ в скоплении PERSEY имеют среднее значение абсолютной величины $M = -20^m.14 \pm 0.44$ с ошибками. В то же время 6 спиральных галактик с $M \geq -20^m.6$ с предполагаемой большей долей темной материи показывают значение $M = -20^m.3 \pm 0.25$ в качестве галактик типа Sc, Sbc, Scd, характеризующихся крутым профилем у кривой скорости вращения спиральных галактик. В свою очередь 46 спиральных галактик низкой светимости с $M \geq -20^m.6$ в скоплении A779, в среднем, характеризуются значением абсолютной величины $M = -20^m.03 \pm 0.45$, в то время как 8 спиральных галактик с большей долей темной материи составили $M = -20^m.5 \pm 0.12$ в качестве галактик Sc типа. В то же время 95 спиральных галактик с $M \geq -20^m.6$ показывают в скоплении Сомы среднее значение абсолютной величины $M = -19^m.93 \pm 0.45$, в то время как 12 галактик с большей долей темной материи в качестве Sc галактик составляют среднее значение абсолютной величины $M = -20^m.15 \pm 0.22$. И, наконец, 55 спиральных галактик с $M \geq -20^m.6$ в формации GREAT WALL составили в среднем значение абсолютной величины $M = -19^m.96 \pm 0.51$, в то время как 13 спиральных галактик с большей долей темной материи характеризуются средним значением $M = -19^m.90 \pm 0.40$ - в качестве галактик Sc типа. Сравнение средних значений абсолютной величины спиральных галактик низкой светимости с выделенными из них спиральными галактиками с темной материей во всех рассматриваемых скоплениях позволяет предположить о несколько большей яркости выделяемых спиральных галактик.

6. *Выводы.* Общее число спиральных галактик низкой светимости с $M \geq -20^m.6$ в скоплении PERSEY составило 17 галактик, из которых 6 спиральных галактик со структурой типа Sc, Sbc, либо Scd были выделены в качестве галактик с большей долей темной материи, что составляет 35.3%. В случае статистических работ эти галактики могут заменить требование крутого профиля у кривой скорости вращения спиральных галактик низкой светимости. Отношение числа спиральных галактик с темной материей 6 к общему числу 91 галактики в скоплении PERSEY составило 6.6%.

Аналогично, отношение числа спиральных галактик с большей долей темной материи 8 к числу спиральных галактик низкой светимости 46 в скоплении A779 составило 17.4%, а отношение числа спиральных галактик с большей долей темной материи 8 к общему числу галактик 97 в скоплении A779 составило 8.2%. В свою очередь отношение числа спиральных галактик с темной материей 12 к числу 95 спиральных галактик низкой светимости в скоплении СОМА составило 12.6%, а отношение числа галактик с большей долей темной материи 12 к числу всех галактик 231 скопления СОМА составило 5.2 %. Наконец, отношение 13 спиральных галактик с большей

долей темной материи к числу 55 спиральных галактик низкой светимости составило в формации GREAT WALL 23.6%, а отношение числа 13 спиральных галактик с большей долей темной материи к числу всех галактик 109 в формации GREAT WALL составило 11.9%. Сравнение вычисленных динамических параметров M_{dm} , M_{dm}/L_R , K и μ для спиральных галактик с $M \geq -20^m.6$ и $M \leq -20^m.6$, различающихся по светимости в скоплениях PERSEY, A779, COMA и GREAT WALL на основе оценки t -критерия Стьюдента показывает статистически значимое уменьшение в числе спиральных галактик с большей долей темной материи с $M \geq -20^m.6$ в изучаемых скоплениях.

Таким образом, если предположить, что упомянутые в статье косвенные методы выявления спиральных галактик с большей долей темной материи допустимы, то на основании анализа распределения спиральных галактик в GREAT WALL и рис.2 можно заключить, что темная материя не коррелирует с динамическим процессом, приведшим к образованию в скоплении COMA такого феномена как GREAT WALL.

¹ Абастуманская астрофизическая обсерватория им. Е.К.Харадзе
Государственный университет им. Илии, Тбилиси,
Грузия, e-mail: nmnt@yahoo.com

² Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения

REVEALING AND STUDY OF SPIRAL GALAXIES WITH DARK MATTER IN SOME CLUSTERS OF THE NORTH GALACTIC HEMISPHERE

T.M.BORCHKHADZE¹, N.G.KOGOSHVILI¹, A.T.KALLOGHLIAN²

The dynamical features of spiral galaxies with absolute magnitude $M \geq -20^m.6$ were studied in clusters Persey, A779, Coma and the Great Wall based on the data from the Merged Catalogue of Galaxies MERCG. The diameters of galaxies from MERCG were used to determine the radius R_p , that defines the region of possible concentration of dark matter and the dynamic parameters M_{dm} and M_{dm}/L_R of spiral galaxies were calculated based on the condition of centrifugal equilibrium. Results from the theory of angular momentum transfer were used to estimate the central surface density μ_0 and the full angular momentum K of stars

in spiral galaxies. The comparison of dynamical parameters of spiral galaxies with $M \geq -20^m$ and $M \leq -20^m$ reveals a statistically significant reduce in the number of spiral galaxies with $M \geq -20^m$ and more fraction of dark matter and constitute in studied clusters the values: Persey (35.3%), A779 (17.4%), Coma (12.6%) and in the formation Great Wall (23.6%).

Key words: *clusters of galaxies: dark matter: dynamic features*

ЛИТЕРАТУРА

1. N.G.Kogoshvili, T.M.Borchkhadze, Абастум. астрофиз. обсерв. Бюлл., **77**, 2004, (Сводный Каталог галактик MERCG доступен на сайте (<http://library.iliauni.edu.ge/galaxies.html>)).
2. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H.G.Corwin et al., RCBG, Springer-Verlag, 1999.
3. Б.А.Воронцов-Вельяминов, А.А.Красногорская, В.П.Архипова, МКГ, I-V, 1964-1974.
4. R.B.Tully, J.R.Fisher, Astron. Astrophys., **54**, 661, 1977.
5. V.C.Rubin, W.K.Jr.Ford, N.Thonnard, Astrophys. J., **238**, 471, 1980.
6. M.Persic, P.Salucci, Astrophys. J., **355**, 44, 1990.
7. M.Persic, P.Salucci, Astrophys. J., **368**, 60, 1991.
8. A.Riess et al., Astrophys. J., **699**, 539, 2009.
9. G. de Vaucouleurs, Astrophys. J. Suppl., **48**, 1961, (UBV 461 gal.)

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

CHICAGO, ILL. 60607-7090
TEL: (773) 837-3000
FAX: (773) 837-3000
E-MAIL: orderdept@uchicago.edu
WWW: <http://www.uchicago.edu>
PUBLISHED BY THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
110 S. MICHIGAN AVE., 2ND FL.
CHICAGO, ILL. 60607-7090
TEL: (773) 837-3000
FAX: (773) 837-3000
E-MAIL: orderdept@uchicago.edu
WWW: <http://www.uchicago.edu>

CHICAGO, ILL. 60607-7090
TEL: (773) 837-3000
FAX: (773) 837-3000
E-MAIL: orderdept@uchicago.edu
WWW: <http://www.uchicago.edu>
PUBLISHED BY THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
110 S. MICHIGAN AVE., 2ND FL.
CHICAGO, ILL. 60607-7090
TEL: (773) 837-3000
FAX: (773) 837-3000
E-MAIL: orderdept@uchicago.edu
WWW: <http://www.uchicago.edu>

CHICAGO, ILL. 60607-7090
TEL: (773) 837-3000
FAX: (773) 837-3000
E-MAIL: orderdept@uchicago.edu
WWW: <http://www.uchicago.edu>
PUBLISHED BY THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
110 S. MICHIGAN AVE., 2ND FL.
CHICAGO, ILL. 60607-7090
TEL: (773) 837-3000
FAX: (773) 837-3000
E-MAIL: orderdept@uchicago.edu
WWW: <http://www.uchicago.edu>

CHICAGO, ILL. 60607-7090
TEL: (773) 837-3000
FAX: (773) 837-3000
E-MAIL: orderdept@uchicago.edu
WWW: <http://www.uchicago.edu>
PUBLISHED BY THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
110 S. MICHIGAN AVE., 2ND FL.
CHICAGO, ILL. 60607-7090
TEL: (773) 837-3000
FAX: (773) 837-3000
E-MAIL: orderdept@uchicago.edu
WWW: <http://www.uchicago.edu>