

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



C350
A-828

15/1-79

18 - 11844

195/2-79

Р.-Д.Арльт, В.С.Евсеев, Е.А.Красавин,
Х.-Г.Ортлепп, Н.И.Рыжов, Б.М.Сабилов,
Б.С.Федоренко, Х.Хаупт, А.Л.Карповский

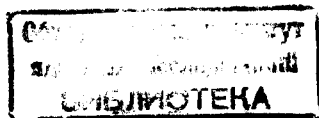
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ
В ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ОРГАНИЗМА КРЫС
ПОСЛЕ ОРБИТАЛЬНОГО ПОЛЕТА
С ПОМОЩЬЮ
ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ МЮОНОВ

1978

18 - 11844

Р.-Д.Арлыт. В.С.Евсеев. Е.А.Красавин.*
Х.-Г.Ортлепп. Н.И.Рыжов.* Б.М.Сабилов.
Б.С.Фелоренко.* Х.Хаупт. А.Л.Карповский*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ
В ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ОРГАНИЗМА КРЫС
ПОСЛЕ ОРБИТАЛЬНОГО ПОЛЕТА
С ПОМОЩЬЮ
ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫХ МЮОНОВ



*Институт медико-биологических проблем Министер-
ства здравоохранения СССР.

Арлт Р.-Д. и др.

18 - 11844

Исследование изменений в химическом составе организма крыс после орбитального полета с помощью отрицательно заряженных мюонов

Методом мезорентгеноскопии исследован химический состав организма трех белых крыс линии Wistar, находившихся в течение трех недель в космическом полете на искусственных спутниках Земли "Космос-605" и "Космос-690". Показано, что химический состав организма животных существенно не изменился после полета.

Полученные данные подтверждают предположение о том, что в результате воздействия факторов космического полета, по-видимому, не происходит выноса из организма тяжелых элементов, но происходит перераспределение их между тканями организма животного.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Arlt R.-D. et al.

18 - 11844

Investigation of Changes in Body Chemical Composition of Rats After the Spaceflight by the Negatively Charged Muons

A body chemical composition of three white rats of the "Wistar" line has been investigated by the muonic x-ray spectroscopy technique, sojourned during three weeks in the spaceflight on earth artificial satellites "Cosmos-605" and "Cosmos-690". It is shown that a chemical composition of these animals has not been changed after the spaceflight. The obtained results confirm the hypothesis by that due to the influence of space flight on alive organism apparently no carrying out of heavy elements from an organism is happened, but their redistribution between various tissues of the body occurs.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Уже более четверти века известно, что замедлившиеся в веществе отрицательно заряженные мю-мезоны образуют мезоатомы - связанные системы, в которых мю-мезон играет роль тяжелого электрона. Переходя с одной мезоатомной орбиты на другую, мезон испускает характерный для данного элемента спектр мезорентгеновского излучения^{1/}. Если в образце, где останавливаются мю-мезоны, имеются атомы различных химических элементов, то в результате посадки мю-мезона на орбиты вокруг ядер этих атомов образуются различные мезоатомы, дающие различные мезорентгеновские спектры. Чем меньше атомный номер элемента, тем энергия этого излучения ниже. Регистрируя излучение, то есть снимая его энергетический спектр, можно по интенсивности групп линий, испускаемых различными мезоатомами, определить содержание различных атомов в их механической смеси.

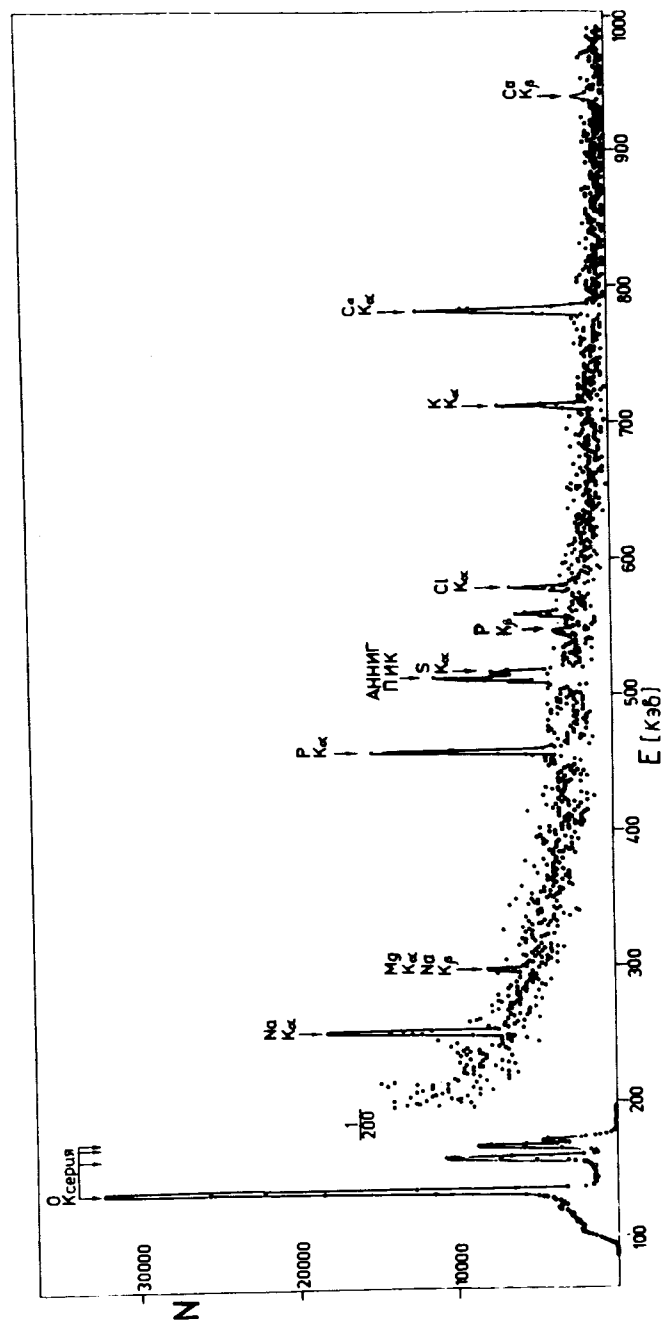
В химических соединениях вероятность посадки мю-мезона на различные атомы, как правило, зависит не только от их относительного содержания, но и от природы химической связи и атомного номера элемента^{2/}. Поскольку закономерности посадки мезона на различные атомы в сложных химических соединениях в общем виде еще не установлены, абсолютный элементный анализ соединений неизвестной химической структуры на основе измерения только мезорентгеновского спектра осуществить пока невозможно. Однако в ряде случаев представляет большой интерес наблюдение изменений относительной концентрации элементов, входящих, например, в соединения с известной структурой. Именно такого рода

задачу и представляет исследование динамики содержания различных элементов в живых объектах.

Впервые использовать мюоны для диагностических целей предложено в работе^{/3/} и, независимо, в^{/4/}. Данные, относящиеся к результатам вычисления усредненного спектра мю-мезорентгеновского излучения для организма человека, а также экспериментально полученные мезорентгеновские спектры участка берцовой кости быка и выделенных из организма других образцов тканей, приведены в работах^{/5-7/}.

Впервые эксперименты по использованию мюонов для определения элементного состава живых организмов в условиях специального биологического эксперимента были начаты в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ весной 1973 г. Исследования проведены на крысах линии Wistar весом около 180 г. Мюоны высокой энергии притормаживались в блоке вещества и останавливались в организме животного. Момент остановки мюона выделялся системой сцинтилляционных счетчиков. Животное помещалось в пенал из пенопласта с отверстиями для доступа воздуха. Размеры пучка обеспечивали равномерное облучение всего тела животного мезонами. Для увеличения скорости счета детектор квантов мезорентгеновского излучения располагался вблизи исследуемого объекта. При этом кванты из удаленных от детектора участков регистрировались с меньшей вероятностью. Для достижения более однородного "просматривания" всех частей организма периодически менялось положение объекта относительно детектора. Следует отметить, что внутренняя часть организма при этом "просматривалась" детектором менее эффективно.

Кванты мю-мезорентгеновского излучения регистрировались с помощью Ge(Li) - спектрометра объемом около 41 см³ в режиме быстрых совпадений его сигнала с сигналом остановки мю-мезона в интервале около 10⁻⁸ с. Такое временное разрешение позволило надежно выделять мезорентгеновское излучение на фоне рассеянного излучения от ускорителя в месте расположения установки. Предварительное сообщение об этих экспериментах опубликовано ранее^{/8/}. Полученный энергетический спектр показан на рисунке, а результаты его



Спектр мю-мезорентгеновского излучения из организма крысы. По оси абсцисс - энергия мезорентгеновского излучения, по оси ординат - количество импульсов на интервал энергий.

обработки - в табл. 1 /животное 1/. Энергетический порог в этом опыте был установлен таким образом, что регистрировалось мезорентгеновское излучение атомов тяжелее кислорода. В остальных опытах регистрировалось одновременно мезорентгеновское излучение 10 элементов - от углерода до кальция.

Из групп линий, относящихся к мезоатомам тяжелее кислородного, видны лишь самые сильные K_{α} - линии, соответствующие переходам $2p-1s$, и только в случае фосфора и кальция видны и K_{β} - линии /переход $3p-1s$ /. Ввиду того, что линия K_{α} магния практически совпадает с линией K_{β} натрия, ошибка в определении магния существенно увеличивается.

Полученный спектр обрабатывался следующим образом. С помощью ЭВМ определялось суммарное количество импульсов, набранных за время измерения под каждым из пиков. Затем вводилась поправка на зависимость эффективности детектора от энергии и на вклад более слабых линий в К-серии каждого элемента. Для этого использовались как литературные данные так и результаты наших измерений мезорентгеновских спектров для ряда соединений, входящих в состав живых организмов. Для кислорода, а также углерода и азота учитывалась суммарно измеренная интенсивность всех линий К-серии.

Известно, что мезоны, захватывающиеся химически связанными атомами водорода, практически целиком переходят на соседние, более тяжелые атомы. Поэтому увеличение вклада от водорода проявляется по увеличению, например, интенсивности кислородного мезоатома /вода/.

В табл. 1 показана относительная интенсивность мезорентгеновского излучения различных атомов /"относительный вклад элемента"/. Указанные ошибки являются статистическими. Сюда не включены ошибки поправок, поскольку они являются одинаковыми как для первого, так и для двух других экспериментов, и нас интересуют в данном случае только изменения в содержании элементов.

Содержание элементов с помощью мезорентгеновского излучения может быть определено после прове-

Таблица 1

Относительное содержание элементов в организме крыс: №1 - лабораторный контроль и №2 - находившаяся в ИСЗ "Космос-605"

Элемент	Относительное содержание элементов, %		Вклад элементов для животного №2 по отношению к вкладу элементов для животного №1	Вклад элементов для животного №2 по отношению к вкладу элементов для того же животного после помета
	животное № 1	животное № 2		
углерод	-	15,7±0,5	-	1,26±0,05
азот	-	2,7±0,6	-	1,11±0,29
кислород	80,0±1,9	78,7±1,8	0,98±0,03	0,95±0,03
натрий	0,17±0,01	0,18±0,01	1,06±0,09	0,70±0,07
магний	0,03±0,01	0,036±0,012	1,20±0,55	0,90±0,52
фосфор	0,47±0,02	0,48±0,01	1,02±0,05	1,02±0,04
сера	0,28±0,02	0,32±0,01	1,14±0,06	0,97±0,05
хлор	0,17±0,01	0,16±0,02	0,94±0,12	0,69±0,17
калий	0,30±0,02	0,29±0,03	0,97±0,12	0,86±0,10
кальций	0,99±0,07	1,07±0,07	1,08±0,10	0,89±0,06

дения серии измерений на образцах органических соединений и водных и воднобелковых растворов соответствующих электролитов.

Нам представилась возможность провести аналогичные измерения у одного животного, находившегося в течение 22 суток в орбитальном полете на искусственном спутнике Земли /ИСЗ/ "Космос-605". Измерения были выполнены дважды: спустя сутки и тридцать суток после полета /табл. 1, животное № 2/.

Одинаковый в пределах статистических погрешностей мезорентгеновский спектр для второй и третьей колонки таблицы может свидетельствовать о том, что химический состав организма обоих животных для элементов, начиная с кислорода, одинаков, и что он не изменился в результате длительного космического полета /пятой столбец табл. 1/.

Следует обратить внимание / см. шестой столбец табл. 1/ на увеличение содержания углерода на $25 \pm 5\%$ и уменьшение содержания натрия и хлора, соответственно, на $31 \pm 7\%$ и $31 \pm 17\%$ в период адаптации организма животного. Наблюдается также некоторая тенденция к уменьшению содержания калия и кальция.

Позже нами были выполнены измерения мезорентгеновских спектров еще на двух животных линии Wistar до и после орбитального полета на ИСЗ "Космос-690".

Методика эксперимента была аналогичной, только в качестве детектора мезорентгеновского излучения использовался германиевый детектор объемом 55 см^3 . Результаты, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о заметном увеличении содержания углерода после полета - на $12 \pm 2\%$, и подтверждают вывод о неизменности вклада остальных элементов.

Уменьшение содержания натрия и тенденция к уменьшению содержания хлора, калия и кальция в период адаптации /табл. 1/ возможно, связаны с изменением рациона питания животных после окончания полета. Причины увеличения относительного содержания углерода после полета /табл. 2/ пока не ясны; этот вопрос требует дальнейшего исследования.

Существуют экспериментальные данные, полученные как в опытах на животных^{9/}, так и на человеке^{10/}, кото-

Таблица 2

Изменения в содержании элементов организма крыс, экспонировавшихся на ИСЗ "Космос-690"

Элемент	Отношение содержания элементов после полета к содержанию элементов до полета		
	Животное № 3	Животное № 4	Средневзвешенное для животных № 3 и 4
углерод	$1,11 \pm 0,03$	$1,13 \pm 0,03$	$1,12 \pm 0,02$
азот	$1,03 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,02$
кислород	$0,98 \pm 0,03$	$0,98 \pm 0,02$	$0,98 \pm 0,02$
натрий	$1,06 \pm 0,08$	$1,10 \pm 0,35$	$1,06 \pm 0,08$
магний	$1,2 \pm 0,6$	-	$1,2 \pm 0,6$
фосфор	$1,02 \pm 0,05$	$0,98 \pm 0,08$	$1,00 \pm 0,04$
сера	$1,14 \pm 0,09$	$1,18 \pm 0,14$	$1,15 \pm 0,07$
хлор	$0,94 \pm 0,13$	$1,0 \pm 0,3$	$0,95 \pm 0,12$
калий	$0,97 \pm 0,12$	$1,07 \pm 0,17$	$0,99 \pm 0,09$
кальций	$1,08 \pm 0,10$	$0,95 \pm 0,07$	$0,98 \pm 0,06$

рые свидетельствуют об изменении содержания кальция в различных частях скелета в результате перенесенного организмом состояния гипокинезии. Полученные нами данные показывают, что в результате действия факторов космического полета не происходит заметного выноса тяжелых элементов из организма животных, а наступает, вероятно, перераспределение некоторых элементов между тканями или органами организма. Такого рода информация следует, например, из работ^{11/}.

Приведенные результаты надо рассматривать в качестве предварительных, поскольку они получены на небольшом количестве животных. Предполагается проведение такого рода исследований на большем материале и при измерении мезорентгеновских спектров на одних и тех же объектах в течение длительного времени как до, так и после экстремальных воздействий.

Авторы пользуются случаем, чтобы выразить глубокую благодарность директору Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ проф. В.П.Джелепову за постоянное внимание к биологическим экспериментам на мюонном пучке и поддержку в их проведении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fitch V.L., Rainwater J. *Phys.Rev.*, 1953, 92, p. 789.
2. Герштейн С.С. и др. "Успехи физических наук", 1969, 97, с. 3.
3. Daniel H. *Nucl.Med.* 1969, 8, p. 311.
4. Зинов В.Г., Конин А.Д., Мухин А.И. Авт.свидетельство СССР, № 333452 от 12 мая 1970 г. Бюлл. ОИПОТЗ, 1972, № 11, с. 169.
5. Rosen L. Труды IY Международной конф. по физике высоких энергий и структуре ядра, Д1-6349, Дубна, 1972, с. 589.
6. Taylor M.C., Coulson L., Philips G.C. *Rad.Res.* 1973, 54, p. 335.
7. Hutson R.L. et al. *Radiology*, July 1976, 120, p. 193-198.
8. Arlt R. et al. *Academie der wissenschaften der DDR Zentralinstitut für Kernforschung, Rossendorf bei Dresden, ZfK-183, Gemeinsamer Jahresbericht, 95, August, 1974.*
9. Воложин А.И. и др. *Космическая биология и медицина*, 1972, № 3, с. 10.
10. Красных И.Г. *Космическая биология и авиакосмическая медицина*, 1974, 8, № 1, с. 68.
11. Whedon J. et al. *Mineral a Nitrogen Balance Study observations, preprints of 1974 ASMofAMA*, p. 210; Vogel J., Whittle M. *Bone mineral measurements of the Second Skylab, preprints of 1974, ASMofAMA*, p. 210.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 августа 1978 года.