

P13-2001-219

Г.Л.Глonti, А.Л.Гонгадзе, П.Г.Евтухович,  
Е.Н.Ильющенко, Ч.Капочиа<sup>1</sup>, С.А.Котов,  
С.Ю.Подкладкин, Э.Г.Цхададзе, В.Ф.Чепурнов,  
Г.А.Шелков, Д.Савастру<sup>2</sup>, К.Фита<sup>2</sup>, Дж.Маккарроне<sup>1</sup>,  
С.Чериони<sup>1</sup>

## ОПОРНЫЕ ЛИНИИ ДЛЯ СБОРКИ МДТ-КАМЕР ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS

---

<sup>1</sup>Национальный институт ядерных исследований, Фраскати, Италия

<sup>2</sup>Национальный институт оптоэлектроники INOE-2000, Бухарест,  
Румыния

## 1. ВВЕДЕНИЕ

К MDT-камерам, предназначенным для мюонной системы эксперимента ATLAS [1], предъявляются высокие прецизионные требования [2]. Расстояние между сигнальными проволочками должно выдерживаться с 20-микронной точностью. Для обеспечения такой величины допуска во время изготовления камер использовались специально созданные опорные линии, на которых располагались дрейфовые трубки [3-6], а также оптическая система юстировки для обеспечения и контроля взаиморасположения этих линий. На рис. 1 приведена фотография поверхности гранитного стола с расположенными на ней семью опорными линиями. Две крайние из них поддерживают трубки в местах калиброванных поверхностей концевых заглушек. Они и определяют дистанцию между сигнальными проволочками. Остальные пять линий служат для поддержки трубок при склейке и для обеспечения их линейности. Соответственно, к крайним опорным линиям предъявлялись более жесткие требования при их изготовлении.

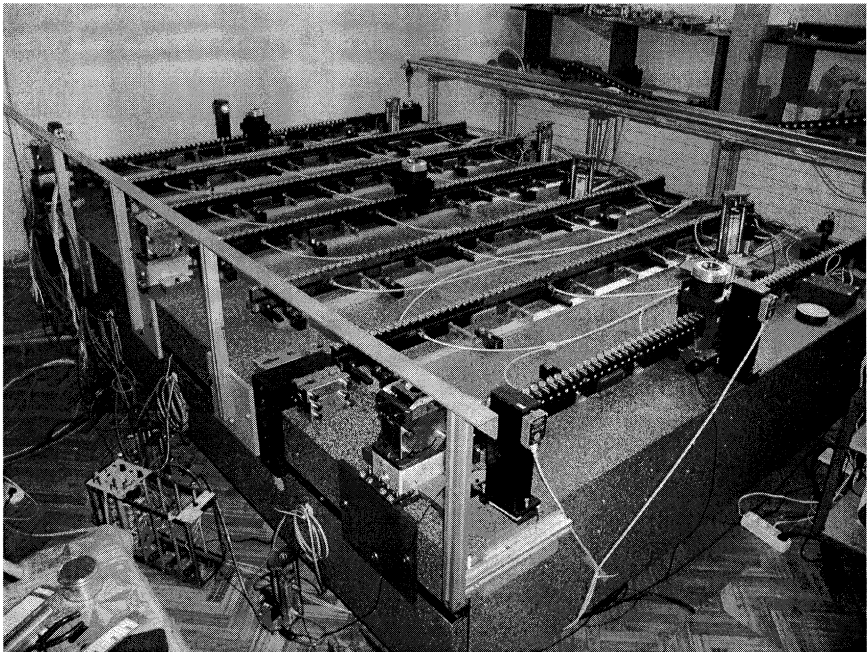


Рис. 1. Гранитный стол с семью опорными линиями

Максимальное количество трубок в камере по ширине 72. Так как изготовление высокоточной опорной линии длиной 2160 мм связано со многими технологическими проблемами, было принято решение делать более короткие отдельные опоры и в дальнейшем склеивать их по 4 в одну линию. Каждая отдельная опора предусмотрена для точного расположения 19 дрейфовых трубок перед их склейкой в одной плоскости. Основная технологическая разработка была проведена совместно с инженерами мюонной группы ИНФН, Фраскати, Италия [7]. В дальнейшем в сотрудничестве с инженерной группой из Национального института

оптоэлектроники (INOE-2000, Бухарест, Румыния) технология была адаптирована для размеров BMS-камер и изготовлены все детали опор. Высокоточная склейка отдельных опор в единую линию, а также все первые измерения проводились в Италии.

## 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТДЕЛЬНОЙ ОПОРЫ

Опора состоит из нескольких частей – основа, точно изготовленные стальные цилиндры (роды) с  $\text{Ø}12\text{H}6$ , ножки. Детали были изготовлены согласно стандартам ISO-2768-mk-E и ISO-8015-E. Шаг между позициями труб при изготовлении основ выдерживался 30.035 мм. В дальнейшем более точный шаг обеспечивался при склеивании точных родов с помощью высокоточного шаблона. Для склеивания всех опор использовался один и тот же шаблон. После склейки каждая опора промерялась на 3D-машине.

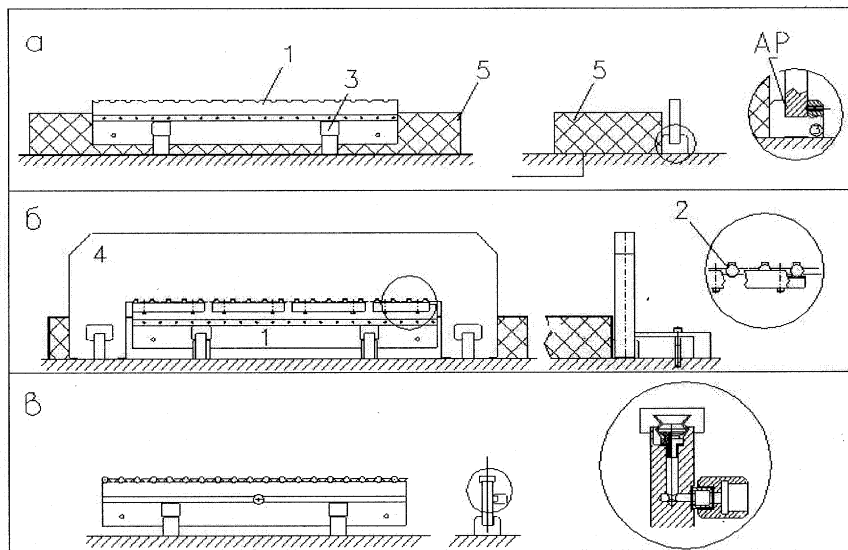


Рис. 2. Схема склеивания отдельной опоры: а) этап склейки ножек; б) склейка точных родов с помощью шаблона; в) этап склейки вакуумных деталей. 1- основа опоры, 2 – точный род, 3 – ножка, 4 – точный шаблон, 5 – гранитный брус. AP – места нанесения клея «Аралдит-2014»

На рис. 2 показана схема расположения основы (1), точных родов (2) и ножек (3) во время склеивания при помощи шаблона (4). В начале к основе приклеивались ножки (а). Точно обработанными боковыми сторонами ножки прижимались к гранитному брусу (5). В дальнейшем эти стороны использовались при шивании отдельных опор в единую линию. Следующий шаг – приклеивание точных родов к основе. Роды закреплялись на внутренней стороне шаблона (4) и прижимались специальными резиновыми подушками к заранее отведенным гнездам. На основе опоры в местах расположения родов наносились полоски клея. Затем шаблон с прикрепленными родами надевался на основу (б). Шаблон своими ножками

опирался на гранитный стол, и таким образом обеспечивалась единая высота расположения родов.

Гранитный стол (3550x2600 мм<sup>2</sup> поверхность) и брус (200x400 мм<sup>2</sup> сечение) имеют отклонение от плоскостности не более 8 микрон. Отклонение от перпендикулярности вертикальной оси опор относительно основания ножек обеспечивалось с точностью 50 микрон (на 50 мм базе).

Когда процедура высокоточного склеивания заканчивалась, к основам были приклеены вакуумные трубы-линии с газовыми разъемами и держатели вакуумных присосок (в). На рис. 3 показана фотография склеенной отдельной опоры.

Использовался клей фирмы СИВА «Аралдит-2014». Весь процесс склеивания проходил в климатизированном помещении с постоянной температурой 20<sup>0</sup>С, относительная влажность воздуха 50%, давление 760мм ртутного столба. Такие же параметры поддерживались и при точных измерениях готовых деталей.

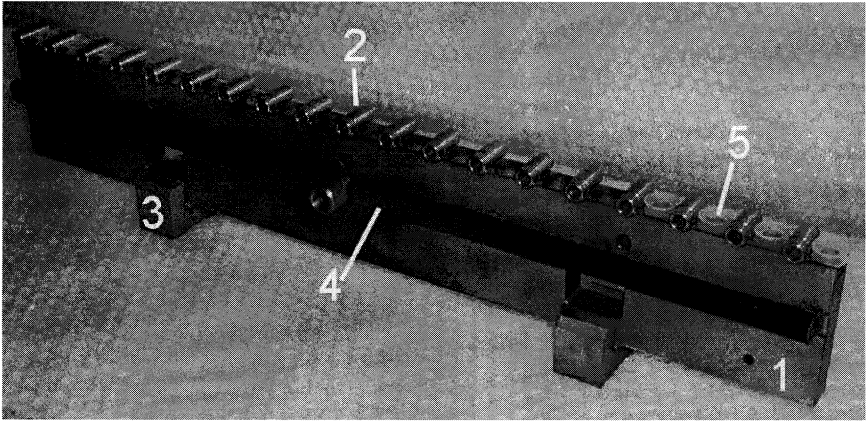


Рис.3. Отдельная опора после склейки: 1 - основа, 2 - точный род, 3 - ножка, 4 -вакуумная линия с газовым разъемом, 5-вакуумная присоска

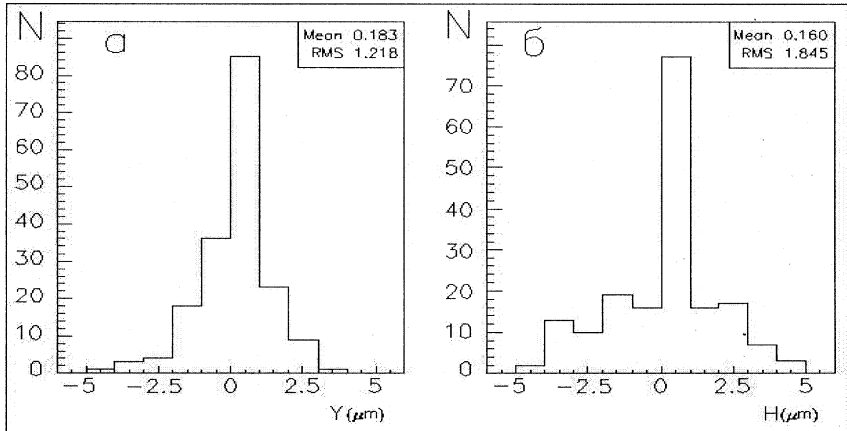


Рис.4. Результаты измерений отдельных опор на 3Д-машине: а – отклонение от заданного шага, б – высота расположения точных родов

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ОПОР НА 3D-МАШИНЕ

Цель измерений – проверка шага между позициями трубок после склеивания отдельной опоры. Измерения проводились на 3D-машине метрологического отдела ИНФН, Фраскати. В опору укладывались высокоточные роды (диаметром 30 мм). Головка 3D-машины измеряла 8 точек на каждом роде – 4 с одной стороны по поверхности рода и 4 – с другой. После измерения каждого рода головка машины калибровалась на заранее заданной высоте-калибре. Специальная программа вычисляла высоты и шаги расположения измерительных родов в опоре.

На рис. 4 показаны результаты измерений для 10-ти опор вместе.  $Y$  – отклонение шага расположения родов от заданной величины (30,035 мм),  $H$  – разброс координат центров родов от горизонтальной плоскости. Как видно из диаграмм, максимальное отклонение – в пределах  $\pm 5$  микрон. Среднеквадратичное отклонение для обоих распределений не превышает 2 микрон.

В дальнейшем при склеивании отдельных опор в линию шаг еще раз измерялся с помощью интерферометра.

### 4. СКЛЕЙКА ОТДЕЛЬНЫХ ОПОР В ЛИНИЮ

При технологии склеивания 4-х отдельных опор в одну линию основной проблемой являлось обеспечение линейности и выдерживание нужного шага и высоты в местах наращивания линии. Линейность при склеивании достигалась с помощью высокоточного гранитного бруска-линейки – отдельные опоры перед склейкой прижимались «точными» сторонами ножек к бруску.

Для обеспечения шага позиции труб заранее был изготовлен калибр-переходник, который имитировал расположение труб в последних двух позициях одной опоры и первых двух позициях последующей опоры. После фиксирования обеих опор на них с боковых сторон приклеивались сшивающие пластины-держатели. Третья опора приклеивалась уже к склеенной паре, и дальше четвертая.

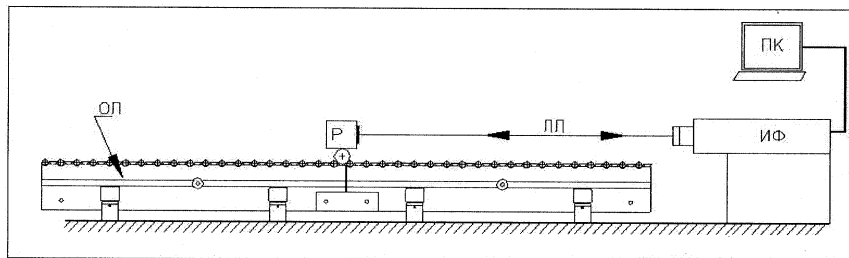


Рис. 5. Схема измерений опорной линии с помощью интерферометра: ИФ – интерферометр НР5529А, ОЛ – опорная линия, Р – рефlector с шаровой основой, ЛЛ – лазерный луч, ПК – компьютер

Для проверки результатов склеивания был сооружен специальный стенд. Основным измерительным прибором являлся интерферометр НР5529А (см. схему на рис.5). Рефlector (Р) интерферометра (ИФ) со сферическим основанием располагался на опорной линии (ОЛ) в позициях между точными родами.

Программное обеспечение задавало ожидаемую дистанцию этой позиции от начальной (первой) позиции линии с учетом шага 30,035 мм. Вычислялась разница между программно заданной и реально измеренной величиной  $Y$ . Так как на больших дистанциях интерферометр добавлял систематическую ошибку, для оценки шага между позициями вычисляли величину  $\Delta Y = Y_{N+1} - Y_N$ , что соответствует изменению шага между соседними позициями. Особое внимание уделялось местам склеивания отдельных опор между собой. Результаты измерения показаны на рис.6. На рис. 6а приведена гистограмма распределений величины  $\Delta Y$  только для мест сшивания отдельных опор, а на рис.6б – суммарная гистограмма для всех опорных линий.

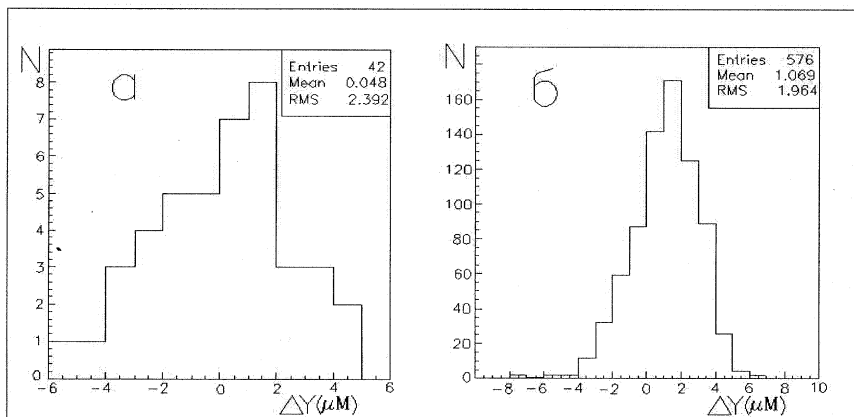


Рис.6. Результаты измерений опорной линии на стенде с интерферометром

Как видно из диаграмм, максимальное отклонение шага позиции труб от заданной величины не превышает  $\pm 8$  микрон, а среднеквадратичное отклонение меньше 3 микрон, что вполне укладывается в требуемые пределы.

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КООРДИНАТ СИГНАЛЬНЫХ ПРОВОЛОЧЕК В «МОДУЛЕ-0»

7 опорных линий были установлены на гранитный стол (рис.1). Их точное взаиморасположение согласно технологической процедуре для сборки MDT-камеры было обеспечено с помощью оптико-механической системы.

MDT-камера «Модуль-0» включает в себя 6 плоскостей труб. Каждая из них содержит 32 трубы. Перед склеиванием трубы были расположены в специальных позициях опорных линий, зафиксированы с помощью вакуумных присосок. Склейка проводилась клеем «Аралдит-2011» с использованием специально для этой цели созданного автоматического устройства [8].

Собранная камера проверялась на рентгеновском томографе ЦЕРНа [9]. Измерялись координаты сигнальных проволочек камеры для каждого уровня труб в мультислоях. В таблице 1 приведены результаты:  $Z$  – средний шаг сигнальных проволочек в слое труб в плоскости проволочек. В скобках даны стандартные отклонения  $\sigma_z$ , а  $\sigma_y$  – стандартное отклонение координат проволочек в

перпендикулярной к проволочкам плоскости. Для упрощения таблицы в столбике Z из средней величины вычтены 30 мм и показаны только микронные части данных.  $L_{ij}$  – адрес слоя трубок в камере ( $i=1,2$  – номер мультислоя,  $j=1,2,3$  – номер слоя трубок внутри мультислоя). В таблицу включены 5 итераций измерения для каждого слоя трубок. Измерения проводились на нескольких местах камеры. В таблицу внесены только результаты измерений у высоковольтных и сигнальных концов трубок, так как они и отражают качество изготовления точных (первой и седьмой) опорных линий.

Таблица 1. Результаты измерений координат сигнальных проволочек камеры «Модуль-0» на X-томографе в ЦЕРНе

	Сигнальная сторона камеры		Высоковольтная сторона камеры	
	$[Z(\sigma_z)-30\text{мм}]$ (микрон)	$\sigma_Y$ (микрон)	$[Z(\sigma_z)-30\text{мм}]$ (микрон)	$\sigma_Y$ (микрон)
$L_{23}$	34,9 (5,8)	9,1	34,7 (7,7)	7,8
	34,5 (7,1)	9,9	34,6 (6,7)	7,5
	34,7 (6,5)	10,7	34,4 (7,1)	6,3
	34,8 (8,0)	7,4	34,5 (7,9)	8,6
	34,6 (5,8)	9,6	34,6 (8,2)	7,7
$L_{22}$	35,1 (6,9)	8,2	34,9 (5,5)	6,0
	34,8 (6,9)	8,3	34,8 (6,3)	9,9
	34,9 (7,6)	8,1	34,6 (6,9)	9,7
	35,0 (7,5)	8,9	34,6 (7,6)	10,0
	34,7 (6,9)	7,3	34,8 (7,1)	10,0
$L_{21}$	35,0 (8,4)	8,0	34,5 (7,7)	7,7
	34,5 (8,1)	8,5	34,5 (6,0)	8,0
	34,8 (8,3)	8,5	34,4 (5,8)	7,6
	34,8 (8,5)	9,3	34,4 (6,0)	8,9
	34,5 (7,3)	8,3	34,5 (6,1)	7,7
$L_{13}$	35,0 (8,0)	10,7	34,5 (9,6)	9,6
	34,6 (7,8)	11,3	34,4 (7,6)	7,8
	34,7 (8,5)	12,2	34,4 (7,4)	7,7
	34,9 (8,0)	8,3	34,5 (8,0)	8,6
	34,5 (7,1)	11,5	34,5 (7,6)	7,0
$L_{12}$	34,9 (7,0)	10,9	34,7 (9,8)	9,8
	34,6 (6,4)	12,2	34,7 (5,7)	7,7
	34,7 (8,1)	9,4	34,5 (6,7)	6,0
	34,9 (6,9)	7,8	34,5 (5,9)	7,5
	34,5 (6,8)	9,7	34,7 (6,1)	8,5
$L_{13}$	34,7 (6,4)	10,7	34,6 (7,4)	7,4
	34,2 (7,3)	8,3	34,6 (6,5)	8,6
	34,5 (7,7)	7,8	34,4 (7,1)	8,9
	34,5 (5,3)	9,9	34,5 (8,3)	9,1
	34,5 (6,9)	7,5	34,7 (7,7)	9,7

Как видно, стандартное отклонение координат сигнальных проволочек не превышает допустимого – 20 микрон, средний шаг проволочек совпадает с заданной величиной (30,035 мм), в полном соответствии с требованиями для производства MDT-камер.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение результатов измерений опорных линий с итогами измерения координат сигнальных проволочек в камере «Модуль-0» на рентгеновском томографе дает возможность заключить, что опорные линии изготовлены в соответствии с техническими требованиями по производству MDT-камер и позволяют склеивать уровни труб в пределах необходимых допусков.

Авторы выражают благодарность сотрудникам мюонной группы ATLAS из ИНФН, Фраскати, за содействие во время склеивания и измерения опорных линий, а также Ю.Седых и С.Шуню за оказание помощи при измерении координат сигнальных проволочек в камере на рентгеновском томографе в ЦЕРНе.

### Литература

1. *ATLAS Muon Spectrometer Technical Design Report*. CERN/LHCC/97-22.
2. Н.Кроха. *Quality Assurance and Control Reference Document for ATLAS MDT Chamber Construction*. ATL-MUON-2000-008.
3. Госткин М.И. и др. *Измерение позиции сигнальной проволочки в дрейфовых трубках мюонной системы установки ATLAS с помощью рентгеновского излучения*. Сообщение ОИЯИ P13-2001-197, Дубна, 2001.
4. Брайк В. и др. *Высококочувствительный стенд контроля герметичности дрейфовых трубок*. Сообщение ОИЯИ P13-2001-200, Дубна, 2001.
5. Глonti Г.Л. и др. *Краткое описание производства дрейфовых трубок для MDT-камер эксперимента ATLAS*. Сообщение ОИЯИ P13-2001-211, Дубна, 2001.
6. Госткин М.И. и др. *Стенд для высоковольтного тестирования дрейфовых трубок мюонной системы установки ATLAS*. Сообщение ОИЯИ P13-2001-212, Дубна, 2001.
7. ATLAS Internal Note MUON-NO-152 (1997).
8. B.Comanescu et al. *Equipment for gluing the parts of an optoelectronic detector*. The 6<sup>th</sup> symposium on optoelectronics. 22-24 Sep 1999, Bucharest, Romania. Proceedings of SPIE. Volume 4068, p.669-675.
9. [http://x.home.cern.ch/x/xtomo/www/Results/Dubna\\_2001\\_03/](http://x.home.cern.ch/x/xtomo/www/Results/Dubna_2001_03/).

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 октября 2001 года.



Глonti Г.Л. и др.

P13-2001-219

Опорные линии для сборки МДТ-камер эксперимента ATLAS

Предлагается описание методики изготовления опорных линий для склеивания дрейфовых трубок при производстве МДТ-камер эксперимента ATLAS. Согласно спецификациям на качество МДТ-камер, разброс координат сигнальных проволочек в собранной камере не должен превышать 20 микрон. Опорные линии для фиксирования трубок были изготовлены с учетом этих требований. Описана процедура склеивания опор, приведены результаты контрольных измерений точности в процессе изготовления, а также диаграмма распределения координат сигнальных проволочек в собранной камере «Модуль-0».

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

Glonti G.L. et al.

P13-2001-219

Comb-Lines for Assembly of MDT Chambers  
for ATLAS Experiment

A description of manufacturing technique of comb-lines for drift tubes gluing during assembly of MDT chambers for ATLAS experiment is presented. Under the requirements of quality control, tolerances of the coordinates of signal wires in assembled chambers should not exceed 20 micron. The comb-lines for tube fixation that were made satisfy these requirements. The gluing procedure of the combs is described, results of control measurements during comb manufacturing are given, and also the diagram of distribution of the signal wire coordinates in the assembled chamber «Module-0» is shown.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

Редактор М.И.Зарубина. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 15.11.2001  
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,81  
Тираж 335. Заказ 52955. Цена 81 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области