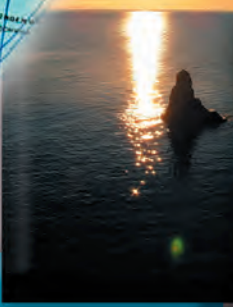


ATOM

No 46'2010



55 Центральный полигон Российской Федерации



★ п. Рогачёво
★ п. Белушья Губа



В НОМЕРЕ:

55 ЛЕТ ЦЕНТРАЛЬНОМУ ПОЛИГОНУ

- 2** И. А. Андрияшин Полигон на Новой Земле
А. К. Чернышев

2009 – МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД АСТРОНОМИИ

- 16** В. А. Разуваев Внесолнечные планеты
21 А. К. Шаненко Сублимация осколков астероида
И. П. Поповидченко после воздействия на него
ядерным взрывом
24 М. Д. Голубовский Детектив в истории науки

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

- 27** В. А. Елесин Об истории развития вычислительной
техники и программирования
32 Е. Б. Смирнов Теория детонации Михельсона – Чеп-
мена – Жуге
К. М. Просвирин
38 В. Л. Махнач Власть по Аристотелю

МОЛОДЕЖЬ В НАУКЕ

- 39** С. В. Фадеев Вокруг Ханойской башни

НАША ЗЕМЛЯ

- 44** Н. Л. Острианская Саровский городской краеведческий
музей

УЧРЕДИТЕЛЬ – ФГУП
«РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР – ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ»
(РФЯЦ-ВНИИЭФ)

ЗАРЕГИСТРИРОВАН
ГОСУДАРСТВЕННЫМ КОМИТЕТОМ РФ
ПО ПЕЧАТИ
№ 12751 от 20.07.94 г.
Издается с декабря 1994 г.

Главный редактор

главный научный сотрудник, доктор физ.-
мат. наук, профессор С. А. Холин

Н. А. Волкова (зам. гл. редактора, зам.
нач. ОПИНТИ);

А. К. Музыря (зам. гл. редактора, канд.
техн. наук, ВНИИТФ);

Редакционная коллегия

А. В. Белоцерковец (старший научный
сотрудник ИЛФИ);

А. И. Герасимов (ведущий научный
сотрудник ИЯРФ, канд. физ.-мат. наук);

Г. А. Карташов (финансовый директор
РФЯЦ-ВНИИЭФ, профессор);

В. И. Лукьянов (директор Музея РФЯЦ-
ВНИИЭФ);

А. Е. Малеев (художник-инженер ИЯРФ);

Л. Н. Пляшкевич (ведущий научный
сотрудник НТЦФ, канд. техн. наук);

В. А. Разуваев (начальник отдела ИЯРФ);

Ю. Н. Смирнов (ведущий научный со-
трудник РНЦ «Курчатовский инсти-
тут», канд. физ.-мат. наук);

А. В. Чувиковский (начальник ИПК
РФЯЦ-ВНИИЭФ)

Редактор

Н. П. Гомонова

Компьютерная подготовка оригинала-макета

М. С. Мещерякова, В. В. Ельцов

© ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2010

© Авторы публикаций, 2010

Отпечатано
в Издательско-полиграфическом
комплексе ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
2010 г.

Налоговая льгота — общероссийский
классификатор продукции ОК-005-93,
том 2; 953000 — книги, брошюры

На 1-й, 2-й, 4-й стр. обложки:

на Новой Земле (фото А. И. Манько и В. А. Разуваева)

Адрес редакции: 607188, г. Саров Нижегородской обл., пр. Мира, д. 37,
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОПИНТИ. Телефон: (831-30)205-25.
Факс: (831-30)205-47. E-mail: volkova@vniief.ru

Подписано в печать
15.04.2010 г.
Формат 84х108/16
Печать офсетная
Усл. печ. л. ~5,0
Уч.-изд. л. ~5,0
Тираж 1000 экз.
Заказ 319-2010



ПОЛИГОН НА НОВОЙ ЗЕМЛЕ

И. А. АНДРЮШИН, А. К. ЧЕРНЫШЕВ

Посвящается «солдатам» атомной эры — создателям и испытателям ядерного оружия России, проявившим в суровых условиях Арктики высочайшее мужество и профессионализм.



31 июля 1954 г. вышло постановление СМ СССР о создании ядерного полигона на островах Новая Земля. 17 сентября 1954 г. была подписана директива Генерального штаба ВМФ по штатной структуре новой В/Ч 77510.

Создание ядерного полигона

История архипелага Новая Земля начинается задолго до начала проведения ядерных испытаний на его территории. Но именно ядерные

испытания на Северном полигоне СССР стали причиной появления особого интереса к этим островам.

Первые исторические сведения об открытии архипелага Новая Земля русскими промысловиками (поморами) относятся к XI веку. Длительное время на островах не было постоянного населения. Первая российская правительственная экспедиция на Новую Землю состоялась в 1491 г. На берегах архипелага закладываются первые промысловые стоянки. Начиная с XVIII века, здесь стали организовываться и зимовья. В 1869 г. на постоянное жительство на Новой Земле остался ненец Фома Вылко. Для





Центральный полигон. Белушья Губа

пресечения притязаний иностранных государств на эти земли в 1870 г. их посетила русская военная эскадра в составе кораблей «Варяг» и «Жемчуг». В это же время была основана зимовка в Малых Кармакулах на западном берегу Южного острова в заливе Моллера.

В 1910 г. численность постоянного населения Новой Земли составляла 108 человек, которые располагались в становищах Малые Кармакулы, Белушья Губа, Маточкин Шар и Ольгинское (Крестовая Губа на Северном острове). В 1924 г. на островах проживало 157 человек, из них 128 ненцев. Тогда же был основан Совет островов Новая Земля, первым председателем которого стал избранный поселенцами И. К. Вылка (Тыко Вылко, 1886–1960 гг.). Он стал первым председателем промысловой артели с основной базой в Белушьей Губе. К 1954 г. здесь проживало 104 семьи.

США уже 24.07.1946 г. осуществили первый подводный взрыв мощностью 21 кт в лагуне атолла Бикини. Поскольку морской фактор был определяющей компонентой в военной мощи Соединенных Штатов в период Второй мировой войны, то СССР был вынужден принять решение о создании полигона, на котором можно было бы проводить ядерные испытания в морских условиях. После долгих поисков выбор пал на архипелаг Новая Земля.

В 1954 г. правительственная комиссия, включающая ученых, военных и специалистов различных профилей, возглавляемая командующим Беломорской флотилией контр-адмиралом Н. Д. Сергеевым, предложила создать ядерный полигон на Новой Земле. В состав комиссии входили высококлассные специалисты из различных военных и государственных ведомств. Среди них — директор Института химической физики

академик Н. Н. Семенов, его заместитель член-корреспондент М. А. Садовский, от Института прикладной геофизики — член-корреспондент Е. К. Федоров, представители 6-го Управления ВМФ Е. Н. Барковский, А. А. Пучков, К. К. Азбукин, Ю. С. Яковлев и др.

По оценке специалистов, здесь можно было проводить подводные, воздушные, наземные и подземные испытания. Этому благоприятствовали рельеф местности, наличие глубоководных бухт и заливов, высоких (с вершинами до 1500 м) гор, а главное — удаленность Новой Земли и расположенных на ней испытательных площадок от населенных пунктов. В годы войны там размещалась военно-морская база, которая прикрывала Северный морской путь и переходы караванов транспортов.

Географическое положение и геологическое строение архипелага Новая Земля, в отличие от Семипалатинского полигона, способны были обеспечить возможность безопасного проведения как атмосферных испытаний, так и подземных ядерных взрывов мегатонной мощности. При этом толстый слой вечной мерзлоты и отсутствие грунтовых вод создавали благоприятные условия для полной достаточно длительной локализации продуктов ядерных взрывов в недрах архипелага. Сравнительно мягкие грунты и отсут-

ствие скальных пород в геологическом строении островов Новая Земля способствовали снижению сейсмического воздействия подземных ядерных взрывов. Удаленность испытательных площадок полигона от Амдерма, Нарьян-Мара, Воркуты, Мурманска и Архангельска обеспечивала полную безопасность населения этих городов.

В постановлении 1954 г., подписанном Н. С. Хрущевым, говорилось: «...Построить полигон для испытания атомного оружия на суше, в воде, в атмосфере, а также исследовать воздействие атомного взрыва на все виды вооружения и техники, в том числе на корабли, подводные лодки и фортификационные сооружения». Центром полигона был избран поселок Белушья, а аэродром построили в районе селения Рогачево.

После утверждения правительством началось строительство 6-го Государственного центрального полигона (6 ГЦП), получившего условное наименование Объект-700. Осенью 1954 г. первыми на остров высадились строители во главе с полковником Е. Н. Барковским и главным инженером Д. И. Френкелем. Они разместились в зимних палатках и в помещениях бывшей промысловой фактории. Работы велись высокими темпами в сложных полярных условиях. Главным направлением была южная зона полигона в рай-



Члены Государственной комиссии на Новой Земле, 1980 г. Слева направо: В. П. Евланов, Р. И. Илькаев, А. Д. Спиридонов, В. М. Иванов, Г. А. Цыков (руководитель испытаний), П. И. Коблов, А. И. Павловский



Испытатели



Полигон Новая Земля. Слева направо: руководитель испытаний Е. А. Негин с представителем 12-го Главного управления МО В. И. Ковалевым

оне губы Черная, где строилось все необходимое для проведения первого подводного испытания ядерного заряда.

Для обеспечения жизни и работ на полигоне была создана в/ч 77510. Помимо обслуживания полигонов на личный состав в/ч 52605 и 77510 было возложено проведение измерений характеристик ядерного взрыва по отработанным методикам, радиобиологических исследований, обслуживание автоматики опытного поля, коор-

динация строительства и оборудования испытательных объектов.

Для регламентации мер по переселению коренных жителей Новой Земли на материк были приняты решения, которые для нас, живущих сегодня в куда более лучших условиях, являются блестящим примером государственного подхода и заботы о людях... Приведем выписку из постановления СМ СССР № 724-348 от 27.07.57 г.: «Совету министров РСФСР и Архангельскому облисполкому: а) отселить до 1 ноября 1957 г. с островов Новая Земля на постоянное местожительство в другие районы Архангельской области гражданское население в количестве 298 человек; б) трудоустроить все трудоспособное население, отселяемое с островов Новая Земля; в) назначить, в виде исключения, переселяемым с островов Новая Земля пенсии на основаниях, установленных для рабочих и служащих независимо от наличия у них стажа работы в качестве рабочего или служащего.



Министр В. Н. Михайлов среди испытателей

Сохранить льготы за рабочими и служащими



Утро на причале

новоземельской Промторгконторы Министерства торговли РСФСР в течение 2 месяцев с момента ее ликвидации.

Обязать Министерство обороны СССР: а) построить в г. Архангельске пять (8-квартирных) брусчатых домов с котельной; на о. Колгуев пять (2-квартирных) брусчатых домов, баню, прачечную и электростанцию; в Амдерме один (8-квартирный) дом; б) перевезти транспортом Северного флота бесплатно отселяемое население и материальные ценности новоземельской Промторгконторы; в) выплатить за счет средств Министерства обороны пособие отселяемым на материк в размере 300 рублей (на о. Колгуев 1000 рублей) на каждого человека».

Создание полигона на Новой Земле проходило поэтапно. Для проведения морских испытаний ядерных боеприпасов постановлением Совета министров СССР от 31.07.54 г. № 1559-669 был определен район с соответствующими координатами и создан морской научно-исследовательский полигон. Для проведения воздушных испытаний в соответствии с постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 05.03.58 г. № 258-126 территория морского научно-исследовательского полигона была расширена, и за полигоном был закреплён статус Государственного центрального

полигона Министерства обороны в ныне существующих границах.

Первым начальником фактически уже существовавшего ядерного полигона (ноябрь 1954 г. – сентябрь 1955 г.), отвечающим за подготовку первого подводного ядерного испытания, стал Герой Советского Союза капитан 1-го ранга В. Г. Стариков. Одним из первых начальников Российского Новоземельского полигона был вице-адмирал Виктор Степанович Ярыгин, который вскоре после распада СССР привел в состав Российского флота тяжелый авианесущий крейсер «Адмирал Кузнецов», имеющий на своем борту целый полк истребительной и штурмовой авиации, а также комплекс крылатых, баллистических и зенитных ракет.

Председателями Государственных комиссий при проведении подземных испытаний неоднократно работали Г. А. Цырков, В. И. Карякин, Е. А. Негин, С. Н. Воронин, Е. И. Парфенов, В. В. Выхребенцев и другие. Более 1000 специалистов РФЯЦ-ВНИИЭФ в разное время принимали участие в испытаниях на Новоземельском полигоне. Около 200 человек принимали участие в испытаниях более 25 раз. Следует особо отметить участие в воздушных испытаниях сотрудников отделения 9 (многие из них впоследствии

перешли в организованный испытательный сектор 14), а также сотрудников отделения 4.

В воздушных испытаниях 1957, 1958, 1961, 1962 гг. 35 человек участвовало более 10 раз, а 26 человек — более 50 раз: В.Н. Антонов, В.Г. Ахматов, Б.К. Бонюшкин, Е.С. Беляников, В.П. Буянов, А.В. Веселовский, В.А. Волков, В.М. Горбачев, В.И. Груздев, А.С. Живодеров, Н.А. Краснов, Л.А. Кудрявцев, А.П. Морозов, П.А. Новиков, В.С. Попов, В.А. Плюсин, А.Ф. Саратов, В.В. Спектор, Ю.А. Спехов, Е.М. Турусов, Н.А. Уваров, А.Д. Усенко, Н.П. Хапугин, В.М. Чмиль, С.Н. Шеманухин, А.В. Юрченко.

Всего на полигоне Новая Земля произведено 130 ядерных испытаний. Первый ядерный взрыв был проведен 21 сентября 1955 г. под водой. За период с 1955 г. по 1963 г. на полигоне прошло 91 ядерное испытание (85 воздушных взрывов, 3 подводных, 2 надводных, 1 наземный). За период 1964–1990 гг. проведено 39 подземных ядерных испытаний. Общее число ядерных испытаний на Новой Земле в эти периоды составляло (от полного числа испытаний) 41,2 и 7,9 % соответственно. Уникальность и значимость полигона заключалась в том, что здесь отрабатывалось термоядерное оружие, составляющее основу ядерного арсенала нашей страны. При этом технология испытаний обеспечила минимальное экологическое воздействие на среду. При суммарной мощности испытанных зарядов 265 Мт (на Семипалатинском полигоне ~17 Мт) радиационный фон на подавляющей части территории Новой Земли составляет 10–12 мкР/час (меньше, чем в Москве).

Стоит особо отметить, что выход СССР из моратория на ядерные испытания в 1961 г., напряженная сессия ядерных испытаний в 1961–1962 гг. (138 испытаний, из них половина на Новой Земле) позволили нашей стране создать основы ядерного паритета с США. Все это является прекрасным примером результатов самостоятельной национальной политики в области обеспечения безопасности государства.

Создание ядерного щита

Осенью 1955, 1957 и 1961 гг. в губе Черная на Новой Земле были проведены подводные атомные взрывы малой мощности с общим тротиловым эквивалентом до 20 кт. В этих испытаниях использовался заряд разработки КБ-11 (ВНИИЭФ); от КБ-11 участвовали Е.А. Негин, С.П. Попов, А.Н. Кибкало, А.В. Кораблин и др. Глубина акватории в месте проведения взрывов была около 60 м. В двух последних опытах заряды устанавливались на торпедах, которые выстреливались с подводных лодок. В 1957 г. был проведен взрыв заряда небольшой мощности, установленного на специальной подставке на северном берегу бухты. В районе губы Черная в период 1955–1962 гг. было проведено 6 испытаний (из них одно наземное, 2 надводных, 3 подводных). Взрывы проводились в интересах ВМФ. На акватории бухты были установлены корабли, подводные лодки, гидросамолеты и т. д.

Проведение экспериментальных и теоретических исследований физических процессов этих взрывов, методическое и приборное обеспечение испытаний было поручено Институту химической физики АН СССР. Председателем Государствен-



Радуга



Ясным днем



Поселок испытателей

ной комиссии на первом испытании был директор института академик Н. Н. Семенов, который привлек к решению проблем, связанных с проведением взрывов, известных ученых (С. А. Христиановича, В. Л. Тальрозе, Е. И. Шемякина, Г. Л. Шнирмана, П. В. Кевлишвили, И. Л. Зельманова и др.).

Воздушные испытания в 1957–1962 гг. (85 ядерных взрывов) проводились в районе полуострова Сухой Нос (зона «С»). Основная задача работ — в кратчайшие сроки сократить и в дальнейшем ликвидировать разрыв с США в системе ядерных вооружений. В период испытаний 1961–1962 гг. были отработаны новые физические схемы ядерных боеприпасов, заложены основы достижения в будущем (к 70–80-м гг.) ядерного паритета с США, и все виды Вооруженных сил участвовали в практическом освоении ядерного оружия. Каждое ядерное испытание по своему уникально, но можно выделить среди них те, которые стали вехами в развитии ядерного оружия в нашей стране.

23 февраля 1958 г. на Новой Земле был успешно испытан заряд, в физической схеме которого использовался новый оригинальный подход развития принципа радиационной имплозии (Ю. А. Трутнев, Ю. Н. Бабаев) — «проект 49». Этот заряд положил начало развитию целой серии термоядерных зарядов, испытанных в период 1961–1962 гг. и ставших основой ядерного оружия СССР.

В условиях огромного отставания ядерной мощи СССР от США (в конце 1950-х гг. общее энерговыделение ядерного арсенала США составляло около 17000 Мт, что в десятки раз превышало ядерные возможности СССР) для нашей страны было необходимо решить задачу о принципиальной возможности наращивания энерговыделения термоядерного оружия.

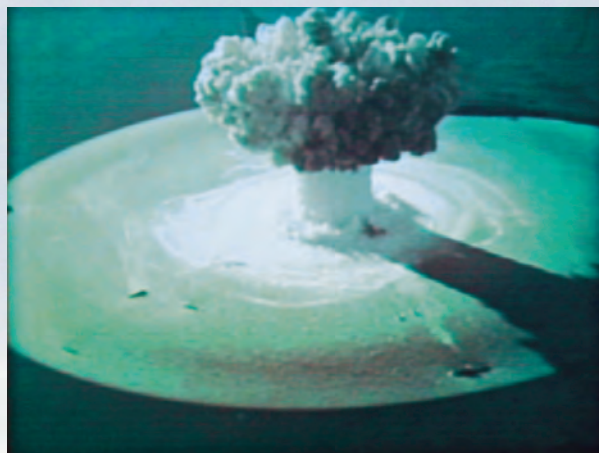
30 октября 1961 г. в СССР было проведено воздушное испытание самого мощного за всю практику ядерных испытаний термоядерного заряда с $E = 50$ Мт. Это было 130-е ядерное испытание СССР и второй сверхмощный взрыв с энер-

говывыделением $E > 10$ Мт. Испытания проводились на основании Постановления ЦК КПСС и Совета министров СССР № 723-302 от 11.08.61 г. Председателем Государственной комиссии для проведения испытаний назначили Н.И. Павлова. Руководителем от ВНИИЭФ был главный конструктор Е.А. Негин. Руководство этим уникальным испытанием на полигоне осуществлял вице-адмирал П.Ф. Фомин, участвовали генерал-майор Г.Г. Кудрявцев, инженер-капитан I ранга В.В. Рахманов, контр-адмирал-инженер Ю.С. Яковлев и профессор И.Л. Зельманов. На испытания прибыли маршал К.С. Москаленко — заместитель министра обороны СССР, главнокомандующий ракетными войсками и Е.П. Славский — министр среднего машиностроения. Они специально прилетели из Москвы, где участвовали в работе XXII съезда КПСС, проходившего в это время.

Взрыв был произведен в 11 ч 33 мин на высоте 4000 м над целью (на высоте 4200 м над уровнем моря). Испытание проводилось со специальным снижением энерговыделения заряда. Высота взрыва над поверхностью исключила радиоактивное загрязнение местности. Авторами-разработчиками физической схемы этого уникального заряда были физики-теоретики ВНИИЭФ: В.Б. Адамский, Ю.Н. Бабаев, А.Д. Сахаров, Ю.Н. Смирнов и Ю.А. Трутнев. Баллистический корпус «царь-бомбы» (длина ~8 м, диаметр ~2,1 м, вес ~26 т) был разработан во ВНИИТФ.

При мощности взрыва около 50 Мт мощность за счет энергии деления составляла всего ~3 %. По результатам радиационной разведки, радиоактивное загрязнение опытного поля радиусом 2–3 км в районе эпицентра составляло всего 1 мР/час на время 1 час после взрыва. Радиационная разведка, проведенная через 2 суток после взрыва по Карскому побережью Новой Земли, вообще не обнаружила загрязнения территории.

Испытание 30.10.61 г. является уникальным достижением, позволившим совместить, казалось бы, несовместимое. С одной стороны, речь шла о проверке работы заряда с номинальной мощностью в 100 Мт с беспрецедентными поражающими возможностями, а с другой стороны, в результате полномасштабного испытания с энерговыделением 50 Мт удалось исключить радиоактивное загрязнение и разрушения на площадках полигона и сколько-нибудь существенное воздействие на окружающую среду. Это испытание наиболее ярко демонстрирует достигнутый к



Первый подводный взрыв на Новой Земле



Самолет Ту-95 со сверхмощной водородной бомбой



Взрыв сверхмощной 50 Мт бомбы «Кузькина мать»

1961 г. высочайший уровень развития технологии ядерных испытаний СССР.

Следует отметить, что при проведении испытаний зарядов большой мощности (10–15 Мт) США фактически уничтожили целый ряд остро-

вов в Тихом океане и вызвали радиоактивные дожди, выпавшие в данной акватории. Вследствие этого США пришлось провести отселение аборигенов островов и выполнить огромные рекультивационные работы.

В октябре 1961 г. специалисты ВВС предложили и разработали новую методику выполнения полетов для испытания 2–3-х изделий в одном полете трех самолетов Ту-16А (С. М. Куликов, А. Н. Тукай, А. В. Попов, Ю. В. Жуганов). Можно только восхищаться, как в условиях полярной ночи за одну неделю (с 18 по 25 декабря 1962 г.) было испытано 11 зарядов. 23 декабря в одном полете было испытано 3 заряда с интервалом в 10 минут, необходимым для перестроения самолетов.

Значительная часть ядерных испытаний в 1961–1962 гг. была проведена в интересах отработки боевого применения ядерного оружия различными родами войск МО (пуски стратегических и тактических ракет с ядерными зарядами с боевых позиций, тренировки экипажей стратегической авиации при проходе самолетов вблизи радиоактивных облаков взрыва, пуски крылатых ракет с самолетов).

К 1961 г. в дальней авиации на базе самолетов-носителей ядерного оружия уже были созданы формирования Ту-16, Ту-95 и ЗМ. Экипажи самолетов-носителей строевых частей дальней авиации были привлечены к выполнению полетов в районе Новоземельского полигона для приобретения навыков, необходимых в условиях применения ядерного оружия. 20 сентября 1961 г. отрядом самолетов-носителей Ту-95 во время воздушных ядерных испытаний такие полеты были выполнены 12-ю экипажами.

В период 1961–1962 гг. проводились боевые пуски ракет различного класса с подрывом головных частей с термоядерными зарядами в зонах «С» и «А». Оперативно-тактические ракеты с

ядерными зарядами запускались с юго-западной части архипелага. Стратегические ракеты запускались с материка с расстояния ~1000 км от места взрыва в зоне «С». 16 сентября 1961 г. были проведены успешные пуски первой стратегической ракеты средней дальности Р-12 с подрывом на Новой Земле «изделий 49». Это были первые комплексные испытания баллистических ракет с термоядерным боевым оснащением. Спустя год, в 1962 г., состоялись успешные пуски новой ракеты Р-14 с вдвое большей дальностью и с вдвое более мощным зарядом разработки Ю. А. Трутнева и Ю. Н. Бабаева. Эти ракеты вместе с МБР Р-16 до середины 1960-х гг. являлись основой наших стратегических ядерных сил.

Отметим хорошую подготовку и высокую надежность этих пусков, во время которых не произошло ни одной аварии. Но этим боевым пускам предшествовала большая подготовительная работа, которая включала штатные пуски без ядерных зарядов. 15 и 16 сентября 1962 г. блестяще были проведены летно-тактические учения дальней авиации в составе 48 экипажей с применением серийных ядерных зарядов МО выпуска 1959 г.

Фундаментальным достижением технологии ядерных испытаний в атмосфере явилась фактическая возможность проведения натуральных взрывов оружия беспрецедентной разрушительной силы при минимальных уровнях воздействия на окружающую среду. По мере накопления информации и опыта проведения работ в технологии ядерных испытаний постоянно ожесточались требования к их безопасности. Ограничения мощности и числа наземных и надводных взрывов, принятие специальных мер в конструкциях ядерных зарядов для уменьшения наработки радиоактивности, оптимальная высота их подрыва явились важнейшим вкладом в обеспечение безопасности испытаний.



Взрывы уходят под землю

К подземным испытаниям на Новой Земле начали готовиться в начале 1959 г., когда было принято решение Правительства СССР о создании геофизической станции в проливе Маточкин Шар, определившее основное место проведения подземных испытаний в горном массиве этого района. В 1959 г. во ВНИИЭФ были предложены методы измерений основных характеристик ядерных зарядов в подземных испытаниях в горизонтальных штольнях. Эти предложения во многом сформировали подход и конкретные пути организации физических измерений. В связи с переходом после 1963 г. на подземные ядерные испытания в СССР была отработана технология проведения ядерных испытаний, что для условий сложной геологии, малых высот горного массива Новой Земли, большой газовой горных пород было непростой задачей. Специалистами Академии наук, МО и МСМ удалось ее решить.

Значительным научно-техническим достижением этого периода явилось создание технологии групповых ядерных взрывов, которая позволила сократить стоимость и время подготовки ядерных испытаний, уменьшить экологическую нагрузку на внешнюю среду и сократить разрыв с США по объему отработки ядерного оружия.

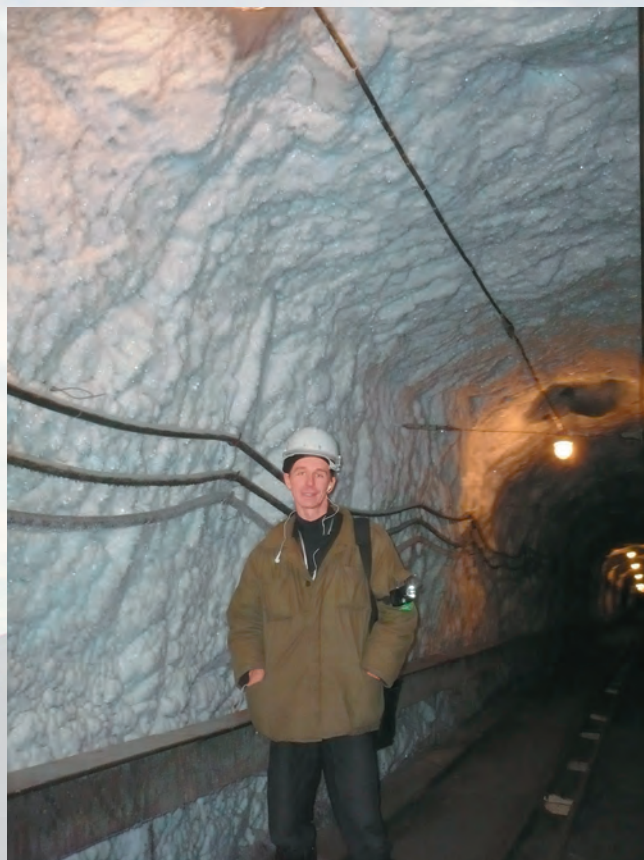
Безусловно, такая технология более сложна, она потребовала разработки принципиально новых измерительных и аппаратурных комплексов и четкой организации работ с обеспечением технологической дисциплины. При проведении испытаний на Новой Земле ее роль была особенно велика. Из 39 подземных испытаний на Новой Земле 28 опытов проводились с групповым подрывом ЯЗ. В 1975 и 1990 гг. в штольнях СИПНЗ «одновременно» было подорвано по 8 ядерных взрывных устройств, что является рекордным достижением.

В проведении уникальных групповых подземных испытаний неоднократно участвовали: В. Н. Антонов, Ю. Т. Бойцов, В. А. Бушин, В. Л. Гладченко, В. И. Голубев, В. М. Горбачев, В. В. Горбунов, Г. А. Гуров, В. П. Евланов, Б. А. Емельянов, В. А. Кислухин, М. И. Красиков, В. М. Кузнецов, В. В. Кузяков, А. И. Манько, В. Н. Малышкин, М. Ф. Мокшенков, В. И. Нагорный, Ю. Я. Нефедов, Б. А. Никитенко, А. И. Решетов, Ю. В. Родионов, С. М. Самойлов, А. А. Стасевич, О. К. Сурский, Н. А. Уваров, К. Ф. Фадеев, А. И. Шишкин и другие.

Стоит отметить групповые испытания, проходившие 12.09.73 г. в штольне В-1, внутри кото-



рой была создана шахта, чтобы иметь возможность испытать заряд мощностью в несколько мегатонн. А 27.10.73 г. в скважине Ю-1 был произведен самый мощный в СССР подземный взрыв (1500–10000 кт). Уникальные достижения ученых и специалистов МО, МСМ и других министерств явились подготовкой к проведению в 1984 г. облучательного опыта по исследованию действия поражающих факторов ядерного взрыва на ракетную, авиационную, морскую технику. Обоснование редакции опыта, научно-





За работой

методическое руководство осуществляли специалисты ВНИИЭФ.

Можно также утверждать, что наша уникальная технология проведения подземных физических опытов по исследованию действия поражающих факторов ядерного взрыва намного опережала аналогичную технологию США по своим функциональным возможностям и имела на порядок меньшую стоимость. Всего в СССР было проведено 146 групповых ядерных испытаний, в которых испытано 400 ядерных устройств. В США было проведено 63 групповых испытаний, в которых взорвано 158 ядерных устройств (при этом в одном из испытаний «одновременно» было подорвано 6 ядерных взрывных устройств). В 1970-е – 1990-е гг. ежегодные затраты на проведение ядерных испытаний в СССР составля-



Перекур

ли всего 25–30 млн. руб. (25–30 млн. долларов США). Соединенные Штаты в это время ежегодно тратили на программу ядерных испытаний 500 млн. долларов.

Переход к проведению подземных испытаний и уменьшение мощности взрывов был кардинальным шагом в улучшении экологической обстановки. Эта технология обеспечила полную радиационную безопасность населения в прилегающих к полигонам районах: для всех подземных испытаний средняя годовая, связанная с их проведением, доза составляла не более нескольких процентов от установленных в СССР санитарных норм. В конце 1980-х гг. была отработана технология испытаний в скважинах с полным отсутствием выхода радиоактивных газов в атмосферу.



Северный витамин

Полигон сегодня

Современный ядерный арсенал создавался в условиях возможности проведения ядерных полигонных испытаний, и такие испытания являлись обязательной составной частью разработки ядерных зарядов. Создание и поддержание надежности и безопасности арсенала ядерных боеприпасов России всегда базировались на нескольких основных компонентах: расчетно-теоретическое проектирование и моделирование, лабораторная газодинамическая отработка макетов ЯЗ на внутренних полигонах Федеральных ядерных центров и натурные испытания ЯЗ на полигонах.

Наше последнее ядерное испытание было проведено (Новая Земля) в 1990 г. В период с 1990 по 1996 гг. остальные четыре ядерных государства провели в совокупности 53 ядерных испытания, причем Франция и КНР закончили проведение своих экспериментов только в 1996 г. В этом же году прекращение ядерных испытаний было закреплено в рамках международного Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испыта-



ний (Договор о ВЗЯИ), который Россия подписала 24 сентября 1996 г. и ратифицировала 31 мая 2000 г.

Наша задача состоит в том, чтобы сохранить ядерное оружие в условиях действия Договора о запрещении испытаний. Специалисты понимали политическую неизбежность такого соглашения





Новое поколение испытателей ВНИИЭФ, 2005 г.

и в течение целого ряда лет работали, по существу, в условиях, идентичных тем, которые определены действием Договора о ВЗЯИ. Практика показала, что, хотя запрещение ядерных испытаний затрудняет решение вопросов жизнеобеспечения ядерного арсенала России, тем не менее, мы в течение длительного времени в состо-

янии сохранять необходимый потенциал ЯО и в условиях ДВЗЯИ. При этом нам необходимо модернизировать технологический цикл ЯО, укрепить вычислительную, экспериментальную и производственную базу отрасли.

В начале 1990-х гг. специалисты РФЯЦ-ВНИИЭФ исследовали вопрос о возможности и



В свободное время



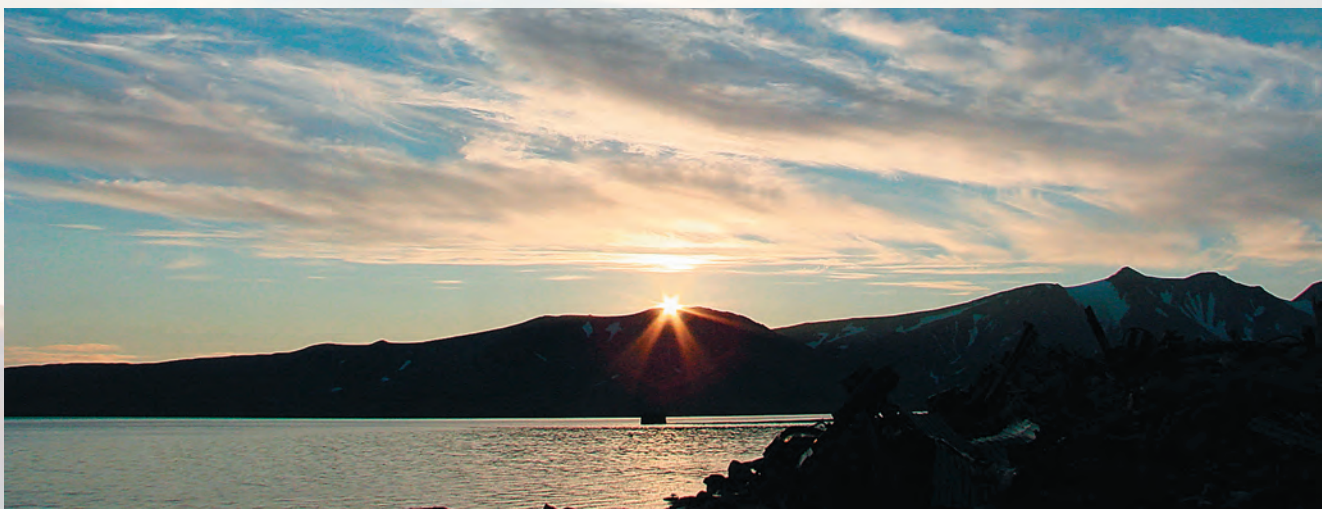
целесообразности проведения на ЦП РФ специальных экспериментов в интересах поддержания надежности и безопасности ядерного оружия. При этом они опирались на значительный научно-технический опыт деятельности, существовавший в этой области. Такие эксперименты мы называем неядерновзрывными, так как они проводятся в редакции с гарантированным отсутствием ядерного выделения, в этих опытах уровень энерговыделения определяется только энергией химического ВВ. Внедрение данного предложения потребовало значительных усилий, и вопрос был энергично продвинут в 1996 г., благодаря активной поддержке министра РФ по атомной энергии В. Н. Михайлова. С этого времени неядерновзрывные эксперименты, являющиеся разрешенной деятельностью, в соответствии «с буквой и духом» Договора по ВЗЯИ, регулярно проводятся на ЦП РФ. Их проведение определяется решениями Правительства и Президента Российской Федерации.

Достижения в развитии ядерных испытаний были бы невозможны без фундаментальных научных и технических решений, эффективной организации работ, подбора специалистов, а главное, без героической работы «солдат» атомной эры — военнослужащих, гражданских испытателей, которые сделали СССР великой державой XX века.

Затраченные усилия не были напрасными.

АНДРЮШИН Игорь Алексеевич —
главный научный сотрудник ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ,
доктор технических наук, лауреат Государственной
премии

ЧЕРНЫШЕВ Александр Константинович —
заместитель научного руководителя РФЯЦ-
ВНИИЭФ по технологиям испытаний, начальник
комплексного отдела ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, док-
тор физико-математических наук, лауреат Государ-
ственной премии



ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТЫ

В. А. ПАЗУБАЕВ

20 декабря 2007 г. 62-я Генеральная Ассамблея ООН объявила 2009 г. Международным годом астрономии. С инициативой его проведения выступила Италия — родина великого Галилео Галилея, который в 1609 г. открыл эру телескопической астрономии. Он первым увидел Солнце, Луну, планеты и звезды в телескоп, созданный собственными руками, и сделал ряд замечательных открытий. Галилей открыл пятна на Солнце, четыре из 63 ныне известных спутника Юпитера, увидел горы на Луне и множество звезд.

В резолюции Генеральной Ассамблеи сказано: «Астрономия является одной из старейших фундаментальных наук... она вносила и продолжает вносить существенный вклад в развитие других наук и прикладных исследований».

Астрономия — наука о Вселенной. Круг вопросов, рассматриваемых современной астрономией, очень велик. Сегодня от нее отделились самостоятельные ветви, которые, в свою очередь, разделяются на множество направлений. Астрометрия — это наука об измерении пространства и времени. Небесная механика изучает закономерности движения небесных тел под действием сил тяготения. Звездная астрономия исследует распределение и движение звезд, звездных систем и межзвездной материи в пространстве. Астрофизика изучает строение, физические свойства и химический состав небесных объектов. Космогония рассматривает проблемы, связанные с происхождением и эволюцией небесных тел. Космология изучает самые общие закономерности строения и развития нашей Вселенной.

Для получения знаний о Вселенной астрономы используют весь спектр электромагнитного излучения — от гамма и рентгеновского до оптического и радиоизлучения, а также источники гравитации, космические лучи и вещество планет, их спутников и комет. Все астрономические открытия, сделанные и еще предстоящие, связаны с развитием различных наземных и космиче-

ских астрономических инструментов, а в последние десятилетия также и с новыми возможностями обработки получаемой информации, связанными с развитием компьютерных технологий.

Замечательным примером того, какого уровня может достигнуть техника эксперимента при изобретательном использовании современных возможностей, является открытие внесолнечных планет. Поиск внесолнечных планет (экзопланет, как их еще называют) дает новые фундаментальные знания о происхождении мира, в котором мы живем, новые представления об эволюции нашей планеты и, наконец, это — поиск миров с теми условиями, в которых когда-то возникла и эволюционировала жизнь на нашей планете.

В прошлом веке отправной точкой в поиске других планетных систем считалась хорошо изученная структура Солнечной системы. Ближе к Солнцу в центральной части Солнечной системы располагаются четыре планеты земного типа: Меркурий, Венера, Земля с Луной и Марс. Все они имеют высокую среднюю плотность, 4–5,5 г/см³, и, за исключением Меркурия и Луны, обладают атмосферами. Их удаленность от Солнца составляет от 0,4 до 1,5 астрономических единиц. Гораздо дальше, от 5 до 30 единиц, располагаются планеты-гиганты. Они устроены совсем иначе и имеют газо-жидкую природу. Эту группу возглавляет Юпитер, масса которого в 318 раз больше массы Земли и составляет одну тысячную массы Солнца.

Звезды находятся крайне далеко от Солнца (ближайшая — на расстоянии 4,22 световых лет). Сами планеты малы и тусклы по сравнению со звездами. Поэтому долгое время задача обнаружения планет возле других звезд была неразрешимой.

Первой открытой экзопланетой стала планета у звезды 51Peg в созвездии Пегаса. Фактически планета у звезды 51Peg была обнаружена в 1994 г., но официально объявили об этом лишь

осенью следующего года. Сообщения об открытии планет появлялись и раньше, в течение почти всей второй половины XX века, но неизменно опровергались. Сейчас благодаря усовершенствованным методам поиска такие планеты стали открывать десятками. Предложено несколько методов выявления планет около звезд.

Астрометрический метод основан на определении изменения собственного движения звезд под воздействием гравитационного поля планет.

Спектрометрическое измерение радиальной или лучевой скорости звезд — в настоящее время самый эффективный метод. Все звезды участвуют во вращении Галактики. При этом каждая звезда имеет собственную скорость, которая относительно Солнца может достигать нескольких десятков километров в секунду. Если звезда приближается к наблюдателю или удаляется, то в результате эффекта Доплера спектр излучения звезды смещается в синюю или красную сторону. Измерения смещения линий в спектре позволяют определить лучевые скорости звезд.

Если у звезды есть планета, то вместе они обращаются вокруг барицентра. Движение звезды по такой орбите наложит на доплеровскую составляющую лучевой скорости переменную составляющую, которая намного меньше полной лучевой скорости, но именно она выдаст присутствие планеты.

Предельной возможностью этого метода, существующего уже около ста лет, до 70-х гг. XX века, считалось нахождение скоростей примерно 300–500 м/с. Но соответствующие поправки к скорости звезд очень малы. Например, в Солнечной системе скорость Солнца, возникающая под действием притяжения Юпитера, всего примерно 12,5 м/с, Сатурна — 2,7 м/с, а Земли или Венеры — менее 0,1 м/с. Поэтому попытки обнаружить планеты при такой точности были совершенно бесперспективны.

В начале 1990-х гг. несколько групп в разных странах занялись совершенствованием метода лучевых скоростей. В 1988 г. в Канаде Б. Кэмпбелл и его коллеги сумели зарегистрировать лучевые скорости около 15 м/с. Они сравнивали положение линий в спектре звезды с наложенным на него лабораторным спектром паров фтори-

стого водорода, который, однако, очень неудобен для работы из-за высокой токсичности. В Швейцарии, в Женевской обсерватории, М. Майор и Д. Квеллоц разработали спектрометр, где была достигнута чувствительность 13 м/с, и в 1994 г. они приступили к поиску планет у звезд солнечного типа из сравнительно близкого окружения Солнца. По предложению П. Батлера, который тогда, как и Квеллоц, был аспирантом, фтористый водород в стандарте заменили парами йода. В газовой фазе йод имеет много спектральных линий как раз в области наиболее удобных линий звезд — 500–600 нм. Из-за многочисленности линий йодного стандарта требуются очень трудоемкая обработка результатов и применение мощного компьютера. По расчетам чувствительность нового метода должна была быть высокой и составлять примерно 10 м/с. В 1994 г. их коллега С. Вогт заменил оптику спектрометра в Ликской обсерватории, где выполнялись наблюдения, и сразу же удалось довести порог чувствительности до 3 м/с. Это вполне позволило бы воображаемому наблюдателю, удаленному на 10 парсеков (30 световых лет), обнаружить Юпитер по его гравитационному влиянию на Солнце.

Метод транзитной фотометрии. Если наблюдатель окажется примерно в плоскости кеплеровской орбиты, то можно наблюдать прохождение планеты по диску звезды (ее транзиты). Конечно, различить черный кружок на точечном диске звезды нельзя, но небольшое уменьшение



Так со спутника экзопланеты может выглядеть ее транзит — прохождение по диску звезды

потока света от звезды измерить можно. В работах 1985 г., опубликованных накануне открытия первого короткопериодического «горячего Юпитера» указывалось, что перспективы обнаружить внесолнечные планеты по их транзитам сомнительны. Авторы исходили из принятых в то время представлений о структуре планетных систем. Действительно вероятность благоприятного для наблюдения транзитов положения плоскости орбиты низка (для пары Солнце — Юпитер вероятность равна 0,0006), и само явление происходит исключительно редко (исходя из периода обращения Юпитера в Солнечной системе, 1 раз в 12 лет). О существовании низкоорбитальных «горячих юпитеров» никто не подозревал, а у них вероятность оказаться в плоскости наблюдения транзитов гораздо выше, вплоть до 0,06 и даже до 0,20. Для системы звезды HD 209458, первой, транзиты которой были обнаружены, вероятность их наблюдения составила 0,17. Транзиты стали новым инструментом астрофизики, позволяющим исследовать не только экзопланету, но и саму родительскую звезду. Только с помощью транзитов удастся исследовать ряд важных характеристик экзопланет, прежде всего, измерить их радиусы и исследовать свойства их атмосфер.

Гравитационное линзирование. Когда одна звезда проходит в луче зрения на фоне другой, то свет дальней звезды искривляется тяготением ближней и ее яркость увеличивается. Если у ближайшей звезды есть планеты, то это скажется на кривой изменения яркости. Для получения результатов нужно одновременно следить за блеском миллионов звезд. Хотя эффект был предсказан в 60-х гг. XX века, реализация его стала возможна лишь после появления мощных компьютеров и хороших ПЗС матриц. Этот метод наиболее чувствителен к легким планетам типа Земли, находящимся на далеких орбитах. К недостаткам метода следует отнести то, что провести повторное наблюдение эффекта гравитационного линзирования одной и той же звезды невозможно.

Визуальное наблюдение. Увидеть экзопланету даже мощным телескопом очень непросто. Яркий свет родительской планеты затмевает ее блеск. Тем не менее, для слабых звезд и бурых карликов прямое детектирование уже стало возможным.

Теоретически большими преимуществами обладает радиометрический метод, который отличается от фотометрического только диапазоном длин волн. Идея связана с использованием осо-

бенностей планковской кривой излучения абсолютно черного тела. Регистрируется не отраженный свет, а собственное инфракрасное излучение планеты в диапазоне 25–50 мкм. Длина волны выбирается правее максимума планковской кривой для планеты, где выигрыш получается наибольшим. К тому же, в отличие от оптической фотометрии, тепловое излучение исходит от всей поверхности планеты, а не только от освещенной стороны. С учетом свойств уравнения Планка отношение интенсивности инфракрасного излучения Юпитера и Солнца получается в 150 тысяч раз больше отношения их яркостей в оптическом диапазоне. Но реальный выигрыш, по техническим причинам, пока не превышает 100 раз.

Найденные планетные системы не похожи на солнечную. Согласно данным интернет-энциклопедии Википедия к октябрю 2009 г. найдено 403 экзопланеты в 341 планетных системах. Большинство из этих планет — газовые гиганты, и более похожат на Юпитер, чем на Землю. Это, скорее всего, объясняется ограниченностью методов (легче обнаружить короткопериодичные массивные планеты).

Первоначально удавалось обнаружить лишь одиночные планеты. Первой системой с несколькими планетами стала система звезды Ипсилон Андромеды. Уже в первые годы исследований было установлено, что по орбитальным признакам экзопланеты делятся на две большие группы: «горячие Юпитеры» («Юпитеры», поскольку их масса порядка массы Юпитера, а горячие — поскольку расположены близко к звезде) на низких круговых орбитах с радиусом орбиты менее 0,15 астрономической единицы (астрономическая единица — 150 млн. км) и периодом обращения менее 10 суток и более массивные, как правило, объекты на высоких орбитах с периодом меньше 10 лет. Орбиты дальних планет образуют эллипс, с неожиданно большим эксцентриситетом, что больше подходит для комет, а не для планет.

Низкие орбиты «горячих Юпитеров» не соответствуют существующим теориям образования Солнечной системы по целому ряду причин, прежде всего, потому, что образование планет-гигантов считалось возможным вдали от Солнца, там, где происходила конденсация воды и других летучих веществ с образованием льдов.

В настоящее время на основании имеющейся статистики можно утверждать, что планетными системами (или одиночными планетами) располагают примерно четыре процента звезд, по

спектральным свойствам близких к солнечному классу.

Взгляд художника на некоторые экзопланеты представлен на рисунках.

Инструменты для обнаружения экзопланет. Для поиска экзопланет используются телескопы как размещенные на поверхности Земли, так и в космосе. В рамках программы «SuperWASP» два робота-телескопа, один на Канарах, другой в Южной Африке, каждую ночь автоматически анализируют изображения миллионов звезд и ищут признаки транзитов планет. После обнаружения нужного события астрономы, работающие во французской обсерватории Верхнего Прованса, на Северном оптическом телескопе на Ла-Пальме или Швейцарском телескопе Эйлера в Чили, проводят дополнительные измерения для подтверждения эффекта. За четыре года было обнаружено пятнадцать планет из срока пяти, открытых методом транзита.

Система «RoboNet», созданная в 2004 г., объединила три робота-телескопа с двухметровыми зеркалами, расположенными на Ла-Пальме, на гавайском острове Мауи и в австралийской обсерватории Сайдинг-Спринг. Они в автоматическом режиме ищут аномалии в поведении гравитационных линз. В течение сезона 2005 г. они следили за 60 линзами, возле одной из них обнаружили новую планету.

В настоящее время в космосе работают несколько телескопов. Это — канадский MOST, выведенный на орбиту в 2003 г., французский COROT, запущенный в декабре 2006 г., и американский «Кеплер», запущенный в марте 2009 г.

В ближайшие годы число телескопов, предназначенных для поиска экзопланет, должно существенно возрасти: 2013 г. — телескоп имени Джеймса Уэбба с зеркалом 6,5 метра, США; 2014 г. — инфракрасный интерферометр «Дарвин», Европа; 2015 г. — «SIM Planet Quest», при объединении с другим телескопом получится гигантский интерферометр, который сможет определять положение звезд и расстояние до них с точностью, в тысячу раз превышающей достигнутую сегодня.

Последствия открытия экзопланет. Открытие экзопланет позволило астрономам сделать



Один из роботов-телескопов сети «RoboNet». Эффективный диаметр зеркала два метра получается в результате сложения данных, полученных восемью маленькими телескопами

вывод: планетные системы — явление в космосе распространенное. До сих пор нет общепризнанной теории образования планет, но теперь, когда появилась возможность подвести статистику, ситуация в этой области меняется к лучшему. Большинство обнаруженных систем сильно отличается от Солнечной, скорее всего, это объясняется особенностью применяемых методов (легче обнаружить короткопериодичные массивные планеты). В большинстве случаев планеты, подобные Земле, современными методами в таких планетных системах обнаружить пока невозможно. Интересно, что у звезды Эпсилон Эрида, которая вместе с Тау Кита и Эпсилон Индейца считается одной из трех ближайших к Солнцу звезд, подходящих для существования жизни, также обнаружена планетная система, хотя достоверность этого открытия пока остается под вопросом.

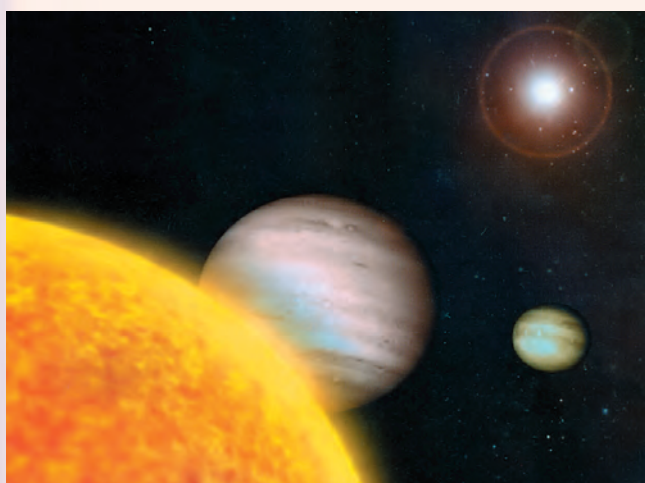
Итак, в конце XX века с открытием экзопланет Солнечная система перестала быть единственной известной планетной системой. Экзопланеты и экзопланетные системы отличаются от нашей Солнечной системы. В чем причина столь необычных свойств Солнечной системы? На сегодняшний день убедительных ответов на этот вопрос нет, как нет и общей теории образования и эволюции планет и планетных систем. Несомненно, что пройдет время и такая теория появится, но новые данные, поток которых непрерывно увеличивается, поставят перед учеными и новые вопросы.



Так должен выглядеть «горячий Юпитер», открытый Майором и Квелоцем



Когда земляне долетят до звезды HD69830, они увидят три «Нептуна» и пояс астероидов



«Юпитер» и «Сатурн» у звезды OGLE-2006-BLG-109L. Вдалеке видна звезда, свет которой усилен гравитационной линзой

В связи с этим уместно привести эпитафию на могиле Ньютона, которую сочинил английский поэт А. Поп:

*Природы строй, ее закон
В извечной тьме таится.
И бог сказал: «Явись, Ньютон!».
И всюду свет разлился.*

После работ Эйнштейна появилось дополнение:

*Но сатана недолго ждал реванша —
Пришел Эйнштейн, и стало все, как раньше.*

В последнее время в прессе появились сообщения об открытии астрометрическим методом планеты с массой в несколько масс Юпитера, об обнаружении планеты у звезды в галактике M31 (Туманность Андромеды) в результате анализа выполненных ранее наблюдений линзирования звезд в этой галактике; сообщения об обнаружении двух планет в результате непосредственного наблюдения. Исследователи из Франции получили снимки окрестностей звезды β Живописца, находящейся на расстоянии примерно 70 световых лет от нас, с помощью системы адаптивной оптики, установленной на телескопе VLT. Наблюдения были проведены еще в 2003 г., но их обработка была завершена лишь недавно, поскольку потребовалось создание новых методик и алгоритмов, чтобы максимально точно распознать и исключить вклад рассеянного света звезды. В результате обнаружена планета массой около восьми масс Юпитера, находящаяся на расстоянии около 8 астрономических единиц от звезды. Обнаружение планеты было подтверждено и другими методами. Вторую планету удалось сфотографировать с помощью телескопа Хаббл. Это планета у звезды Фомальгаут, удаленной от нас на примерно 25 световых лет и расположенная от нее на расстоянии примерно 119 астрономических единиц.

Французский космический телескоп COROT обнаружил у одной из звезд созвездия Единорога самую маленькую из известных сейчас экзопланет. Она больше Земли всего примерно в 1,75 раза. Открытия продолжаются.

РАЗУБАЕВ Виктор Александрович —
начальник отдела ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ,
доктор физико-математических наук

СУБЛИМАЦИЯ ОСКОЛКОВ АСТЕРОИДА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕГО ЯДЕРНЫМ ВЗРЫВОМ

А. К. ШАНЕНКО, И. П. ПОПОВИДЧЕНКО

Ряд наших статей был посвящен рассмотрению возможности предотвращения столкновения Земли с опасными космическими объектами (астероидами, метеороидами и т. д.). Число таких объектов размером не меньше километра на близких к Земле орбитах оценивается примерно в две тысячи. Пока известна лишь сравнительно небольшая их часть. Благодаря организации программ поиска таких объектов обсерваториями мира в последние годы число открытий близких к Земле астероидов существенно возросло — в целом сейчас ежегодно открывается до пятидесяти новых малых космических тел (МКТ).

МКТ имеют небольшие размеры: от нескольких сот метров до нескольких километров. Рекордсменом по малости является астероид 1991ВА, его размер от 6 до 9 м. Самый большой в популяции МКТ — астероид 1036 Ганимед ($D \sim 39\text{--}41$ км). Два следующих по размерам астероида — 433 Эрос и 3552 Дон Кихот с диаметрами порядка 20 км. Все другие астероиды меньше 10 км и 75 % из них меньше 3 км. Сейчас на Земле известно несколько сотен кратеров (астроблем — «ран Земли») с диаметрами от десятков метров до сотен километров и возрастом от десятков до двух миллиардов лет. При рассмотрении поверхности Луны видно, что таких астроблем на ней неизмеримо больше. Земля и Луна по условию попадания на них астероидов идентичны. Напрашивается вывод, что атмосфера Земли является надежным щитом, закрывающим нашу планету от «космических пришельцев» средних параметров: $D \sim 1,5$ км, скорость < 30 км/с, «каменных» по составу (кстати, таких большинство). И только астероиды с $D > 5$ км, железные или железокатенные по составу, к тому же имеющие скорости выше 30 км/с, могут достичь какими-то своими фрагментами, образующимися после воздействия атмосферы, поверхности Земли.

В последнее время в средствах массовой информации все чаще публикуются сообщения о возрастающей космической угрозе. Так появилась информация об астероиде 2000NT 7, орбита которого периодически сближается с орбитой Земли, что может стать причиной его попадания на нашу планету 1 февраля 2019 г. Даже есть заявления, что это самый потенциально опасный астероид, обнаруженный за всю историю иссле-



Астероид Итокава



Различные астероиды

дований подобных небесных тел. Однако считается, что эти данные нельзя считать окончательными, поскольку точность оценок по определению орбит МКТ недостаточна.

Неблагоприятная ситуация для Земли может возникнуть в случае, когда ее гелиоцентрическая орбита может пересечься с гелиоцентрической орбитой МКТ. При этом сценарий дальнейших событий может быть следующим. В определенный момент оба объекта находятся на минимальном расстоянии друг от друга. Не исключено, что через определенное время в силу каких-то причин может произойти их столкновение. Упреждающей мерой для избежания этого может быть заблаговременное применение ядерного взрыва на поверхности МКТ с целью отклонения его центра масс на безопасное расстояние от Земли. Но, как показали исследования, такое воздействие может привести к фрагментации МКТ. При этом фрагменты, кроме имеющейся у них продольной скорости, получают поперечную и, в итоге, относительно Земли они движутся в определенном телесном угле.

Ранее было показано, что при взрыве ядерного заряда с энерговыделением 6 мегатонн на поверхности МКТ типа Икар (диаметр тела — 1500 м) оно распадется на $2 \cdot 10^4$ фрагментов среднего радиуса ~ 40 м, движущихся в сторону Земли в полости конуса с углом при вершине $\sim 10^{-3}$ радиан. При движении МКТ со скоростью 30 км/с в течение одного года (период обращения вокруг Солнца) радиус скопления осколков в окрестности Земли составит $5 \cdot 10^5$ км, что почти на два порядка превышает радиус Земли. С большой вероятностью на Землю могут упасть 3–4 осколка, при достаточном разлете их воздействие будет независимым.

Безусловно, заблаговременное дробление крупного астероида ядерным взрывом является

спасительным для Земли. Эти 3–4 осколка, имеющие энергию порядка 100 мегатонн каждый, не могут вызвать катастрофу планетарного масштаба. Однако, падение такого фрагмента в населенной местности будет иметь нежелательные последствия.

Как показало дальнейшее изучение процесса движения этих осколков в атмосфере Земли с гиперзвуковыми скоростями, они под воздействием аэродинамического сопротивления претерпевают дальнейшую фрагментацию. В работах Г.П. Черепанова «Механика хрупкого разрушения» (М.: Наука, 1974) и А.Г. Иванова, В.А. Рыжанского «Хрупкие разрушения метеороидов в атмосферах планет» (Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006) была предложена модель, положенная в основу расчета распада образовавшихся осколков метеороида типа Икар в атмосфере Земли. Как показали оценки, фрагментация МКТ начинается практически без потери скорости еще в мезосфере, на высотах 64–66 км. При этом число актов фрагментации $n = 28\text{--}30$. Завершается распад в стратосфере на высотах 37–38 км. Размеры образовавшихся фрагментов достигают достаточно небольших величин $\sim 6\text{--}12$ см в количестве $10^8\text{--}10^9$ штук, а маршевые скорости уменьшаются до ~ 26 км/с, т. е. уменьшаются всего на 13 %, что указывает на относительно малые потери энергии при фрагментации.

Проследим судьбу образовавшихся в большом количестве мелких осколков, представляющих собой так называемые болиды, внедряющиеся в более плотные слои атмосферы. В этом случае рассматривается движение затупленных тел в атмосфере Земли при больших скоростях входа.

В монографии В.П. Стулова «Аэродинамика болидов» рассмотрена задача о прямолинейном торможении болида в верхних слоях атмосферы Земли и его абляция. Основным в этом случае является определение характеристик космических тел по детальным динамическим и фотометрическим наблюдениям.

Согласно указанной монографии уравнения метеорной физики в безразмерных переменных после исключения из них времени имеют вид:

$$m \frac{dv}{dy} = \alpha \rho v s; \quad \frac{dm}{dy} = 2\alpha \beta_1 \rho v^2 s.$$

Масштабом скорости v , массы m и площади миделева сечения тела s выбраны их значения при входе в атмосферу, которые, обозначаются индексом e . Масштабами высоты полета y и плотности атмосферы ρ служит высота однород-

ной атмосферы h_0 (около 8 км) и значения плотности на уровне моря соответственно.

В уравнения входят два безразмерных параметра:

$$\alpha = \frac{1}{2} C_d \frac{\rho_0 h_0 S_e}{M_e \sin \gamma}; \quad \beta = \frac{C_h V_e^2}{2 C_d H^*}.$$

Параметр α называется коэффициентом торможения (он пропорционален отношению массы столба атмосферы с поперечным сечением S_e вдоль траектории к массе тела), β — параметр уноса массы (он пропорционален отношению доли кинетической энергии единицы массы тела, поступающей к телу в виде тепла, к эффективной энтальпии испарения).

В работах В.П. Стулова, М.И. Грицевич, Н.В. Попеленской уделяется внимание идентификации динамических параметров болидов по фотометрическим измерениям, проводимым в Канадской и Прерийской (США) сетях. Осуществляется это путем аппроксимации данных наблюдений методом наименьших квадратов, то есть максимального приближения экспериментальной траектории болида к траектории теоретической, полученной при оптимальном наборе параметров α и β .

В нашем случае задача противоположная. В связи с известными массово-габаритными характеристиками рассматриваемых тел и скоростью их движения в атмосфере возможно рассчитать параметры α и β , характеризующие торможение и абляцию метеорного тела в атмосфере. Известно, что значение эффективной энтальпии H^* достаточно крупных болидов ($M_e > 5$ кг) лежит в относительно узких пределах от 1000 до 2000 Дж/г. С уменьшением массы разброс значений возрастает, хотя большинство болидов имеют значение H^* в тех же пределах.

Принимая значение $C_d \approx 1$, $C_h \approx 0,1$ согласно работам В.П. Стулова, значение скорости движения болида в атмосфере $V = 25$ км/с, получим значение α , значение $\beta \approx 7,5-15$.

Для получения аналитического решения уравнений принимаются также два условия: $\rho = \exp(-y)$ (барометрическая зависимость для изотермической атмосферы) и $S = m^\mu$, $\mu = \text{const}$ (режим абляции). Тогда решением уравнения с начальными условиями $y = \infty$, $v = 1$, $m = 1$ и при $\beta \gg 1$ будет $v = 1$, $m = 1 - 2\alpha\beta \exp(-y)$.

Наконец, определим значения высоты погасания метеора, которые получаются из условия $m_t = 0$ или $v = v_t$ с использованием полученных α и β . Высота погасания h определяется при усло-



вию $m_t = 0$ соотношением $y_t = \ln(2\alpha\beta)$. Вычисления показали, что $y_t = h/h_0 \approx 4,3$, т. е. $h \approx 34$ км.

Итак, поток болидов в количестве 10^8-10^9 шт., возникших на высотах 37–38 км, по результатам оценок сторае на высоте 34 км. На рисунке представлена примерная картина, которая может возникнуть при этом в атмосфере Земли. Иными словами, имеется цилиндроподобный объем с радиусом основания 35 м и образующей 4000 м, содержащий каменную пыль с плотностью 0,046 г/см³. Скорость каждой пылинки — 25 км/с и их векторы почти сонаправлены. Высота над Землей переднего торца цилиндра 34–35 км.

Таким образом, при взрыве на поверхности астероида типа Икар диаметром 1,5 км ядерного заряда с энергосвободением 6 мегатонн образуется сгусток пыли (частицы, молекулы, атомы, ионы) с очень большой кинетической энергией, который не сможет достичь поверхности земли, сторе в плотных слоях атмосферы.

ШАНЕНКО Аркадий Константинович —
ведущий научный сотрудник ИТМФ РФЯЦ-
ВНИИЭФ, кандидат физико-математических
наук

ПОПОВИДЧЕНКО Ирина Петровна —
научный сотрудник ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ

ДЕТЕКТИВ В ИСТОРИИ НАУКИ

М. Д. ГОЛУБОВСКИЙ

ООН объявил 2009 г. Годом астрономии в честь двух выдающихся событий, произошедших 400 лет назад. В 1609 г. Галилей, с помощью построенного им телескопа, сделал целую серию открытий. Иоганес Кеплер 400 лет назад опубликовал закон движения планет. Эти два выдающихся астронома постоянно переписывались, обменивались новостями и обсуждали принципы мироздания. В ходе переписки возник один удивительный детективный эпизод в истории науки, до сих пор полностью не ясный. Он связан с использованием анаграмм для шифровки научных данных и мистическим предсказанием двух спутников Марса и их орбит.

Анаграмма — слово или словосочетание, образованное перестановкой букв другого слова или словосочетания. Анаграммная традиция была распространена в европейской культуре в XVI–XVII веках. Распространилась мода на анаграммные псевдонимы. К примеру, лионский врач Rabelais Froncois (Франсуа Рабле) выпустил свои сатирические книги Пантагрюэль (1532) и Гаргантюа (1534) под анаграммным именем Alcofribas Nasier. Особенно анаграммная мода процветала при дворе французского короля Людовика XIII (1601–1643), он даже ввел особую должность при дворе — королевский анаграммист. Здесь прославился Томас Бийон, создавший десятки и сотни анаграммных трансформаций королевского имени и его приближенных. Как пишет венгерский эссеист Иштван Рат-Вег, в тот период «зараза анаграмм косила людей с той же мощью, что и чума кроссвордов». К этому же периоду, связанному с анаграммами, относится один из самых удивительных случаев или курьезов в истории науки и культуры. Галилео Галилей (1564–1642) и Иоганн Кеплер (1571–1630) были современниками Людовика XIII. Ведя оживленный эпистолярный диалог, они иногда важные новости анаграммно кодировали в виде сплошного текста из букв, который посвященный мог легко декодировать, зная контекст.

Небольшое отступление о Кеплере. Он родился накануне 1572 г., когда Европу потрясли два события на небесах и на земле. В 1572 г. произошла вспышка сверхновой звезды, засиявшей на ночном небосклоне намного ярче Венеры и видимой даже днем. Редчайшее небесное явление на-

блюдалось 18 месяцев и усилило интерес к астрономии и астрологии (эти две ветви знаний тогда не различались). Но если на небе воссияла дневная звезда, то на землю Европы в 1572 г. опустилась Варфоломеевская ночь во время кровопролитной 30-летней войны между протестантами и католиками. Кеплер, родившийся в семье лютеран, оказывался под перекрестным огнем двух лагерей. Его мать судили как ведьму. Так что события и на небесах, и на земле были частью его судьбы.

Истолкователь и переводчик на русский язык работ Кеплера, математик и культуролог Ю. Данилов пишет, что по масштабу своих свершений, острой наблюдательности и отточенной интуиции, по цельности характера, благородства помыслов и гениальности озарений Кеплер даже в ряду самых великих является скорее не правилом, а исключением (Ю. А. Данилов. Гармония и астрология в трудах Кеплера, см. www.philosophy.ru).

В возрасте 23-х лет в 1594 г. Кеплер занял должность учителя математики в протестантской гимназии г. Граца (нынешняя Австрия). В обязанности Кеплера входил также выпуск ежегодного альманаха астрологических предсказаний. И здесь Кеплер заслужил репутацию пророка, предсказав грядущую необычайно холодную зиму и вторжение турок на территорию Австрии. Оба события сбылись. 19 июля 1595 г. во время подготовки к лекции по математике в гимназии Граца, на Кеплера снизошло откровение, что взаимное расположение шести известных к тому времени планет не случайно, но образует гармонию из чередования концентрических кругов и вписанных в них пяти правильных многогранников, так называемых платоновых тел. Вокруг орбиты Земли можно описать 12-гранник или додекаэдр, где каждая грань — правильный пятиугольник. В свою очередь, если вокруг этого додекаэдра описать сферу — получим орбиту Марса. Вокруг сферы Марса описывается тетраэдр, а новая сфера тетраэдра образует уже орбиту Юпитера. В сферу же самой Земли вкладывается икосаэдр (20-гранник), а окружность вокруг него соответствует орбите Венеры и т. д. Гармония: шесть планет и пять платоновых тел. На старинных гравюрах модель этой гармонии в виде макета (среза) выглядит очень красиво.

В 1596 г. Кеплер в возрасте 25 лет выпустил книгу «Тайны мироздания», считая, что ему удалось разгадать планетный порядок, который соответствует замыслу Бога. Вера в изначальную гармонию (числа движут миром) вдохновляла многих мыслителей, начиная с Платона, затем Кеплера, Гете, а в недавнее сугубо материалистическое время — биолога и философа А. Любищева.

Однако Кеплера ждало разочарование, когда ему пришлось проверить интуитивную гармонию алгеброй точных наблюдений. На основе детального анализа орбиты Марса и обработки результатов наблюдений своего старшего коллеги и учителя знаменитого датского астронома Тихо Браге (человека легендарной судьбы, начиная от рождения и до смерти), Кеплер сформулировал в 1610 г. два планетарных закона: орбиты планет не круговые, а эллиптические; все планеты движутся по эллипсам вокруг Солнца, а радиус-вектор описывает одинаковые площади в один и тот же промежуток времени. Иными словами, планеты движутся по орбитам с разной скоростью. Прямая дорога к Ньютону: действие силы, заставляющей их двигаться вокруг солнца, убывает с расстоянием.

Хотя начальный вариант поиска порядка в расположении планет не прошел проверку прямыми наблюдениями, Кеплер не отказался от веры в неслучайное расположение планет. И вот в марте 1618 г. он все-таки открыл свой третий основной закон: квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы их средних расстояний от Солнца. Этот закон вскоре нашел ясное истолкование в принципе всемирного тяготения Ньютона. Одна из глав книги Кеплера «Гармония мира», вышедшей в 1619 г., посвящена теории музыки и доводам, что расположение планет гармонирует с интервалами звуко-ряда в пределах одной октавы — «музыка сфер». Как если бы некая невидимая струна прости-ралась от Солнца до каждой планеты. Эту красивую идею до сих пор нельзя считать ни опровергнутой, ни доказанной.

В том же 1609 г., когда Кеплер публикует свои знаменитые первые два закона движения планет, Галилей узнает, что в Голландии изобретена зрительная труба. Он сразу принялся за свою конструкцию трубы, достигнув к марту 1610 г. 30-кратного увеличения. За несколько месяцев Галилей сделал больше новых наблюдений в мире планет и звезд, чем кто-либо до него за всю жизнь. К июлю 1610 г. Галилей стал совершать астрономические открытия с такой скоростью, что не успевал их публиковать. Он сооб-



Обсерватория Тихо Браге в Праге

щал о них в письмах Кеплеру, разделявшему систему Коперника.

Галилей обнаружил четыре спутника Юпитера и опубликовал это открытие. Вскоре он заметил два спутника у Сатурна и решил сообщить об этом в письме Кеплеру. Однако, желая соблюсти приоритет, Галилей анаграммно закодировал свое сообщение. По латыни фраза Галилея из 37 букв выглядела так: *Altissimum planetam tergeminum observavi*. Вольный перевод: «Я наблюдал у самой удаленной планеты тройное строение». Однако это сообщение в письме к Кеплеру Галилей кодирует в виде такой последовательности букв: *smaismrmilmepoetaleumibunenugttauriras*. Галилей был уверен, что Кеплер, великий математик и тайновед, легко разгадает сообщение, зная контекст.

Но тут-то и произошел совершенно замечательный казус, получивший лишь частичное разрешение спустя более чем 250 лет. Кеплер был платоником, идеалистом, убежденным, что числа и формы управляют миром. Узнав об открытии четырех лун Юпитера, он заключил, что число лун у планет соответствует прогрессии 1, 2, 4. Если у Земли один спутник, а у Юпитера — четыре, то у расположенного между ними Мар-



Галилео Галилей и его телескоп

са должно быть два спутника. Кеплер решил, что именно об этом ему пишет Галилей, и составил свой вариант фразы-анаграммы из присланного набора букв: *Salve ubistineum geminatum Martia proles*. В примерном переводе: «Приветствую близнецов, порождение Марса». Иными словами, Кеплер прочитал то, что так алкало его воображение.

В 1611 г. Галилей по просьбе императора дешифровал истинный смысл своего послания. Однако неверная анаграммная дешифровка Кеплера стала известна и имела свое таинственное фантастическое продолжение, до сих пор непостижимое. Спустя 125 лет, в 1726 г. сатирик Джонатан Свифт анонимно публикует знаменитые «Путешествия Гулливера», где описывается, как Гулливер попадает на летающий остров Лапута. Свифт спародировал это название от испанского «la puta» — путана, проститутка. Жители Лапуты, по Свифту, были столь поглощены размышлениями об астрономии и математике, что для продолжения разговора нуждались в постоянном похлопывании друг друга (или при помощи слуг) пузырем по губам или по правому уху. Между тем, лапутяне составили каталог из 10 тысяч звезд (во времена Свифта было известно

лишь около 800) и открыли два спутника Марса. Один спутник якобы удален от Марса на три диаметра, другой — на пять. Первый спутник обращается вокруг планеты за 10 часов, а второй — за 21,5. Квадраты времени оборота спутников вокруг Марса пропорциональны примерно кубам их расстояния от центра планеты (третий закон Кеплера). Лапутяне обнаружили, как сказано в пародии Свифта, что «спутники управляются теми же законами тяготения, которым подчинены другие небесные тела». Научнообразный вымысел — явная пародия на Кеплера.

Однако спустя 150 лет в 1877 г. астроном А. Холл, используя телескопы гораздо более мощные, чем у Галилея, действительно обнаружил два спутника Марса, названные им мифологическими именами Фобос (Страх) и Деймос (Ужас) — по имени лошадей из колесницы бога Марса. Расстояния спутников от центра Марса составляют 2,7 и 6,9 его радиуса, а периоды обращения — 7 часов 39 минуты и 30 часов 17 минут. Размер спутников очень мал, края их изорваны. Открытие Холла находится в неплохом соответствии с данными лапутян, созданных воображением Свифта.

И вот здесь настоящая мистика или тайна, до сих пор непостижимая. Как возможно столь поразительное совпадение вымысла Свифта и реальности? Несомненно, Свифт был знаком с законами Кеплера и, видимо, знал о его ошибочном прочтении письма Галилея. В «Путешествиях Гулливера» Свифт решил высмеять и другие космогонические представления великого астронома, сатирически описав лапутян, регулярно собиравшихся слушать кеплеровскую «музыку сфер». Однако, история посмеялась над самим Свифтом. Ибо его фантазия-сатира по поводу количества спутников и их орбит — все это оказалось фантастически близко к реальности. И не исключено, что в недалеком будущем потомки, подобно лапутянам, будут на сеансах в планетариях слушать музыку сфер. Во всяком случае, историки сообщают о таком признании провозвестника будущего Велемира Хлебникова: «Кеплер писал, что он слушает музыку небесных сфер. Я тоже слушаю эту музыку, и это началось в 1905 г. Я ощущаю пение вселенной не только ушами, но и глазами, разумом, и всем телом».

ГОЛУБОВСКИЙ Михаил Давидович —
ведущий научный сотрудник Института
истории естествознания и техники РАН,
доктор биологических наук

ОБ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ

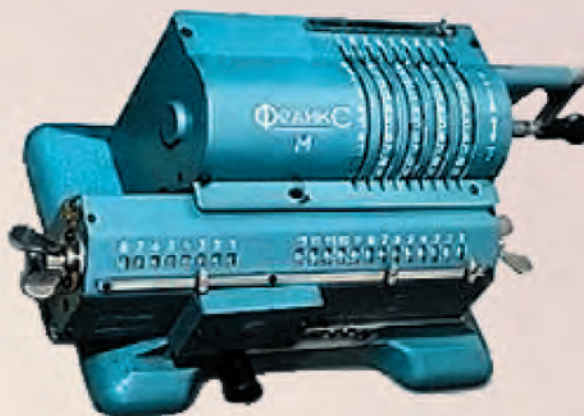
В. А. ЕЛЕСИН

Прародителями современного калькулятора (ЭВМ, компьютера) являлись бронзовый римский абак и русские счеты. Люди всегда стремились получить в свое распоряжение какое-либо устройство для упрощения вычислений. Шотландский математик Джон Непер в 1614 г. изобрел логарифмы: «Осознав, что в математике нет ничего более скучного и утомительного, чем умножение, деление, извлечение квадратных и кубических корней, и что названные операции являются бесполезной тратой времени и неиссякаемым источником ошибок, я решил найти простое и надежное средство, чтобы избавиться от них». Вскоре английский священник Уильям Отред создал первую в мире логарифмическую линейку. Ее постоянно усовершенствовали и дорабатывали (в 1814 г. Питер Роджет; в 1850 г. Амадей Манхейм; в 1921 г. Отис Кинг, свернув шкалу в спираль, увеличил точность до четырех знаков). К 1945 г. линейка приобрела привычный для нас облик: двусторонняя линейка с двумя дюжинами шкал. Пожалуй, не один вычислительный прибор не служил ученым так долго. В XX веке в институтах и университетах обучали пользованию линейкой.

Многие работали над созданием машины, с помощью которой можно было бы выполнять арифметические действия. В 1642 г. Блез Паскаль построил первую числовую машину для выполнения сложения и вычитания, а в 1674 г. Готфрид Лейбниц — машину для выполнения четырех арифметических действий. Но эти машины распространения не получили.

Первый арифмометр, получивший массовое распространение, был изобретен инженером В.Т.Однером в 1874 г. Нам всем запомнился арифмометр «Феликс», на нем мы проводили вычисления в университете, был он у многих и во ВНИИЭФ. На нем вычисления проводились вручную, но уже существовали настольные электромеханические арифмометры «Мерседес» и «Рейнметалл», которые очень сильно шумели при работе.

С 1947 г. на Западе существовал и успешно помогал в расчетах механический карманный арифмометр «Курта» (изобретатель Курт Херцштарк), точность которого оставалась непревзойденной на протяжении четверти века. Даже когда уже появились электронные калькуляторы, «Курта» продолжал пользоваться спросом. Всего их было выпущено около 150 тысяч.



Арифмометр «Феликс»



Клавишная вычислительная машина «Мерседес»

Первым высказал идею построения устройства, автоматически выполняющего арифметические вычисления, был Чарлз Беббидж (1792–1871 гг.). Машина, которую Беббидж назвал «аналитической машиной», должна была проводить вычислительный процесс полностью автоматически по заданной человеком программе. Но она создана так и не была. Наиболее подробные сведения о машине содержатся в воспоминаниях леди Лавлейс. Именно она высказала мысль, что кроме арифметического устройства машина должна обладать управляющим устройством: «Машина может выполнять все то, что мы умеем ей предписать». В 1842 г. Ада Лавлейс (дочь английского поэта Байрона) разработала первую программу для машины. Планы и идеи Беббиджа и Лавлейс опередили свое время без малого на целое столетие. Конрад Цюзе в 1942 г. в Германии и Г. Айкен в 1944 г. в США фактически реализовали идею Беббиджа, построив вычислительные машины на электромагнитных реле с управлением от перфоленты.

Но подлинный перелом в конструировании и производстве вычислительных машин произошел лишь после возникновения электронной промышленности — началась эра электронных вычислительных машин. Разработчиками теории принципов построения цифровых машин (ЦВМ) стали англичанин Алан М. Тьюринг и американский ученый Дж. фон Нейман. Тьюринг (1912–1954 гг.) известен, прежде всего тем, что взломал код германской шифровальной машины «Энигма» и в 1937 г. ввел понятие «машина Тьюринга», являющееся, по сути, уточнением понятия алгоритм. Джон фон Нейман (1903–1957 гг.) — один из ведущих математиков XX века, сыграл важнейшую роль в теории автоматов. Первые ЦВМ на ламповых схемах появились в США в 1946–1948 гг. В компании ЕМСС под руководством Дж. Проспера Эккерта и Джона Мачли в 1946 г. была разработана и изготовлена первая электронно-счетная машина «Эниак».

У нас в августе 1948 г. в Энергетическом институте АН СССР Исаак Семенович Брук и Башир Искандерович Рамеев разработали схему автоматической цифровой электронной машины и в декабре того же года получили авторское свидетельство. С этого события можно начать отсчет времени в истории отечественной вычислительной техники.

В этом же году в Киевском Институте электротехники Сергей Алексеевич Лебедев и сотрудники его лаборатории начали разработку основных принципов построения электронно-счетной

машины. В ряде вопросов Лебедев продвинулся дальше Джона фон Неймана. В течение 1951 г. малая электронно-счетная машина (МЭСМ) была построена, в июле 1951 г. она была введена в эксплуатацию. МЭСМ занимала площадь 60 м², имела 6 тысяч электронных ламп, для работы машины требовалась мощность в 25 кВт. Она была спроектирована, смонтирована и отлажена за три года. В этой работе вместе с Лебедевым участвовали 11 инженеров, 15 техников и монтажников. Для сравнения: на создание компьютера «Эниак» потребовалось пять лет, 13 основных исполнителей, 200 техников и много рабочих.

Следующим шагом для Лебедева стала работа над большой машиной в Москве в Институте точной механики и вычислительной техники (ИТМ и ВТ), организованном в Академии наук СССР в 1948 г. Эскизный проект БЭСМ (Лебедев под «Б» понимал «быстродействующая») рассматривался Государственной комиссией в апреле 1951 г. совместно с проектом машины «Стрела». В 1953 г. БЭСМ вводится в эксплуатацию.

Комплектация БЭСМ была улучшена, производительность машины доведена до 10 тысяч операций в секунду. Академия наук организует в 1955 г. первый в стране Вычислительный центр. Для него выделяются ЭВМ «Стрела» и БЭСМ. Возглавил ВЦ АН СССР Анатолий Алексеевич Дородницын. Несколько позднее были созданы машины М-20 с производительностью 20 тысяч операций в секунду.

Работа над машинами второго поколения БЭСМ-3, БЭСМ-4 (фактически на новую элементную базу переводилась М-20 с расширением структуры машины) привело к созданию легендарной БЭСМ-6. Разработка ее в 1965 г. на несколько лет опередила свое время. БЭСМ-6 — 48-разрядная машина, в элементной базе ее были заложены основы ЭВМ третьего и четвертого поколений, использовалось 60 тысяч транзисторов



и 180 тысяч полупроводниковых диодов. Она работала на частоте 9 МГц и обеспечивала производительность в 1 млн. операций в секунду. Для нее были разработаны наборы управляющих программ (сейчас мы их называем операционными системами). Написаны были компиляторы для всех существовавших в то время языков высокого уровня. Был разработан многопроцессорный комплекс, координационно-вычислительные системы телеобработки. Машины использовались для моделирования сложных физических процессов. БЭСМ-6 выпускалась 17 лет, их изготовили более 300 штук.

В 1969 г. было принято решение о создании единой серии электронно-вычислительных машин (серия ЕС-ЭВМ — «Ряд»). После 1969 г. все серийно выпускаемые у нас компьютеры были клонами устаревших машин западного происхождения. Предлагали в Научно-исследовательский центр электронно-вычислительной техники (НИЦЭВТ) — фактически монополист, влиться и ИТМиВТ, которым руководил С.А. Лебедев. Но он категорически отказался, продолжая делать свои машины — сначала БЭСМ, потом «Эльбрус». Название «Эльбрус» предложил сам Сергей Алексеевич — он в молодости совершил восхождение на Эльбрус. «Эльбрус» в два раза превосходил ЕС-1066. К сожалению, проект БЭСМ-10 реализован так и не был.

У нас во ВНИИЭФ первая ЭВМ «Стрела» заработала в 1957 г., в 1958 г. — «Урал-1». С 1961 по 1963 гг. были запущены три машины М-20. С 1966 г. начали поступать БЭСМ-3 и БЭСМ-4. В 1967 г. заработала первая легендарная ЭВМ типа БЭСМ-6, затем было установлено еще несколько таких машин. В 1978 г. заработала первая ЭВМ серии ЕС — ЕС-1050, было несколько машин ЕС. Последняя из них была демонтирована в 2000 г. Началась эра персональных компьютеров.

С 2000 г. на моем столе в рабочей комнате стоял персональный компьютер, в несколько раз превышающий по мощности ЕС-1066, а по возможностям и того больше. Считаю, что увлечение Ивана Денисовича Софронова суперЭВМ отодвинуло внедрение у нас персональных компьютеров на несколько лет.

В середине 1980-х гг. поступают многопроцессорные ЭВМ «Эльбрус-2» с оперативной памятью 16 млн. восьмибайтовых слов и быстродействием каждого процессора более 10 млн. операций в секунду.

В конце 1980-х гг. по инициативе и под руководством И.Д. Софронова началась разработка мультипроцессорной вычислительной си-



ЭВМ «МП-3»

стемы МП-Х-У. Появление в первой половине 1990-х гг. восьмипроцессорной ЭВМ МП-3 резко активизировало работу по созданию параллельных версий прикладных программ.

Несколько слов о суперЭВМ. Еще в 90-х гг. прошлого века считалось, что суперЭВМ — это машины, среднее быстродействие которых составляет примерно 100 млн. операций в секунду и имеют базу данных в 1 млн. слов и более (вероятно, за образец был взят суперкомпьютер CRAY-1). Но уже вскоре суперкомпьютерами стали называть машины, производительность и другие параметры которых находятся на пределе технических возможностей. Ведь вскоре были запущены машины с быстродействием в 1 млрд., 1 триллион операций в секунду и даже в несколько триллионов операций в секунду.

Суперкомпьютеры во многом определяют развитие вычислительной техники. В то же время они играют важную роль в обеспечении национальной безопасности и экономической независимости государства.

История развития технических средств обеспечения вычислений — это только одна сторона. Другая — история развития программирования вычислений. Так же как и при создании вычислительных устройств, программирование тоже прошло несколько этапов. Сначала это были программы в кодах машины, т. е. непосредственное описание алгоритма решения задачи на языке конкретной машины. Затем — программа на формализованном языке (удобном для человека), который с помощью транслятора переводится в программу, которую и выполняет ЭВМ.

С.А. Лебедев, М.В. Келдыш, В.М. Глушков, В.С. Семенихин и их научные школы внесли крупный вклад в развитие принципов построе-

ния и теории ЭВМ и их программного обеспечения, методов использования ЭВМ в различных областях. М.В.Келдыш говорил: «Методы математики появились не для того, чтобы их изучать, а для того, чтобы из них извлекать закономерности. Появление электронных машин позволило довести до числа решения многих важных задач и реализовать то многое, что накопилось в математике столетиями».

До 1970 г. мы писали программы в основном в кодах машины. Правда, уже на «Стреле» под руководством Михаила Романовича Шура-Бура был разработан большой объем программного обеспечения, много стандартных программ.

На «Стреле» пришлось программировать и мне, я написал программы по заданию экспериментаторов сектора 4, в 1959 г. совместно с В.А.Сараевым мы несколько упростили подготовку задач программы ОПМ 3-05 и написали программы обработки результатов счета. Основные работы по созданию программ в кодах были сделаны на М-20 и БЭСМ-6. Для работы на М-20 у нас было прекрасное руководство: «Программирование на ЭВМ типа М-20» (В.Ф.Ляшенко, «Советское Радио». Москва, 1963). Мы приобрели опыт по программированию, разработке новых методик и осмысленному анализу результатов.

Составление программы (программирование) является задачей творческой. «Тактические уловки» и искусство программиста могут оказаться определяющими. Академик Андрей Петрович Ершов как-то сказал: «Программист должен обладать способностью первоклассного математика к абстракции и логическому мышлению в сочетании с эдисоновским талантом соорудить все что угодно из нуля и единицы. Он должен сочетать аккуратность бухгалтера с проникательностью разведчика, фантазию автора детективных романов с трезвой практичностью экономиста. А кроме того, программист должен иметь вкус к коллективной работе, понимать интересы пользователя и многое другое».

При создании новых программ в математическом отделении очень большое влияние оказали стандарты и подходы, разработанные Н.А.Дмитриевым, реализованные им в программе И-331 (И-332) одномерной газодинамики с теплопроводностью. Идеи, заложенные в эту программу, использовались многими программистами, они во многом определили структуру и организацию созданных в дальнейшем одномерных программ газодинамики и энерговыделения. (И-335, 4-07 и др.).

В 1971 г. научно-технический совет математического сектора ВНИИЭФ принял решение о переходе к программированию на языках высокого уровня. Написав программу на абстрактном языке, можно получить программу для выполнения на любой ЭВМ (конечно, на которой имеется транслятор с этого абстрактного языка). Языков программирования сейчас имеется не менее двадцати. Наиболее часто употребляемыми у нас явились: алгол (алгол-60), разработанный интернациональной группой вычислителей в 1957–1960 гг.; фортран, разработанный группой специалистов фирмы IBM во главе с Джоном Бекусом; PL/1, обладающий свойствами языков алгол и фортран. В последующие годы использовались и другие языки (Basic, Lisp, C, C++, Ada), возможно, и какие-то еще.

Я лично программировал на алголе, в основном с учебными целями, и много на фортране. Слышал, что язык Ada получил репутацию трудного, а вот на PL/1 многие программировали. Язык Ada назван в честь Августы Ады Байрон, графини Лавлейс. Она написала для аналитической машины Беббиджа программу вычисления коэффициентов Бернулли, ввела многие понятия программирования (цикл, условный оператор, другие). Ада Лавлейс считается первым в мире программистом. Язык C возник как универсальный язык системного программирования и постоянно совершенствовался. В 1983 г. появился C++, по мнению многих C/C++ на сегодня самый распространенный язык программирования.

Хочу еще упомянуть о профессоре Никлаусе Вирте. Он заложил традицию присвоения языкам программирования имен математиков прошлого. В 1963 г. своему первому творению он дал имя Эйлера — язык Euler, в 1970 г. — язык Паскаль, считающийся самым известным достижением Вирта. В 1980–1990 гг. большую роль в популяризации в нашей стране языков и систем Никлауса Вирта сыграла рабочая группа по Modula-2, бессменным руководителем и вдохновителем которой был Д.М.Сагателян из Института общей физики АН СССР.

Мощный импульс для развития всей науки и техники в нашей стране и, прежде всего, физики, вычислительной математики и производства ЭВМ дал атомный проект и развитие ракетной техники. Эффективно развивались численные методы. Над ядерной проблемой работали универсальные, совершенно исключительные ученые. Ставили задачи, упрощали, сами решали, используя логарифмические линейки либо арифмометры. В домашний период расчеты прово-

дились в основном по решению систем обыкновенных дифференциальных уравнений для средних величин. Когда возникала большая система уравнений, требующая разрешения, привлекались вычислители.

Но уже в 1948 г. математики предложили применить метод конечных разностей к интегрированию уравнений в частных производных. Наум Натанович Мейман (начальник математической лаборатории в отделе Ландау), Л. Д. Ландау и И. М. Халатников на 3-м Всесоюзном математическом съезде в 1956 г. выступили со своими работами «Некоторые применения метода конечных разностей к дифференциальным уравнениям» и «Численные методы интегрирования уравнений в частных производных методом секток». За эти работы авторы получили в 1952 г. Сталинскую премию II-й степени.

Тогда же, в 1948 г., А. Н. Тихонов на одном из семинаров И. В. Курчатова предложил провести методом конечных разностей прямой численный расчет атомного взрыва на основе полных моделей физических процессов (распространение нейтронов и тепла, ядерного горения и газодинамики), описываемых системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Тогда это заявление Андрея Николаевича Тихонова было воспринято как фантастическое. Но работы были начаты и вскоре получены конкретные результаты. В 1953 г. А. Н. Тихонову присуждается Сталинская премия I степени, присваивается звание Героя Социалистического Труда и вручается орден Ленина за «исключительные заслуги при выполнении специального задания правительства».

Наши первые атомные бомбы были рассчитаны на счетах, линейках и арифмометрах. Но именно с тех пор у нас всегда к разрабатываемым численным методам предъявлялись особые требования: они должны быть простыми, экономичными, устойчивыми и достаточно точными. Всегда от математиков требовались и хорошая теоретическая подготовка, и изобретательность. М. В. Келдыш отмечал: «Наши методы расчета задач математической физики оказались настолько эффективными, что позволили решить те же проблемы, что и стоявшие перед американскими учеными, хотя последние считали на машинах куда более мощных, чем у нас». Когда нас в Сарове стали посещать американские ученые из «родственных» нам лабораторий, они удивлялись, как на наших ЭВМ можно было создать эффективные программы и провести столь высококачественные расчеты.

В какой-то книге я прочитал, что математик — это такой человек, который постоянно, непрерывно работает по специальности. Я думаю, что это верно для любого человека умственного труда, для всякого, кто нацелен на решение определенной задачи (физик-теоретик, историк, химик и т. д.). Он мыслит постоянно. Работа мысли не считается с будильником и календарем. Действительно, подтверждаю, что при работе над программой часто самые изящные решения находились дома, а при отладке программы ошибка обнаруживалась даже во сне. В математике задерживаются только добросовестные и трудолюбивые люди.

Академик Леонид Иванович Седов в 1984 г. сказал: «Умение выделить главные эффекты и главные факторы, которые нужно учитывать, достигается в математике. Сейчас этот процесс развивается, можно сказать, что происходит математизация по стилю и по методам многих отраслей науки. Физику можно тоже назвать, теоретическую физику уж во всяком случае, математикой, самой что ни на есть характерной. Причем современные методы физики связаны с математикой теснейшим образом. Настанет время, когда мы можем сказать, что физика это есть просто раздел математики, в котором разбираются всякие модели, имеющие отношение к действительности, тогда как, с точки зрения самой математики, мы не обязательно должны рассматривать какие-то действительные модели, а можно, исходя из самого логического развития математики, конструировать чисто математические модели, которые тем не менее находят свои применения и в физике, и в других предметах...»

Работы по созданию атомного и водородного оружия привели к колоссальному развитию техники, физики, химии, других разделов науки. Что касается математики, то появление компьютеров и вычислительных методов, привело к математическому моделированию все усложняющихся физических постановок, к созданию мощных вычислительных систем.

ЕЛЕСИН Владимир Александрович –
кандидат физико-математических наук,
почетный ветеран РФЯЦ-ВНИИЭФ

ТЕОРИЯ ДЕТОНАЦИИ МИХЕЛЬСОНА – ЧЕПМЕНА – ЖУГЕ

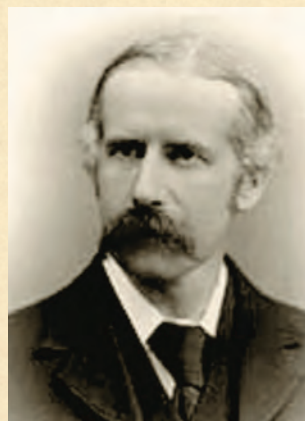
Е. Б. СМЕРНОВ, К. М. ПРОСВИРНИН

Становление теории детонации в XVIII–XIX веках рассматривалось в статье, опубликованной в журнале «Атом», 2007, № 33. Данная статья описывает дальнейшее развитие теории в конце XIX — начале XX веков.

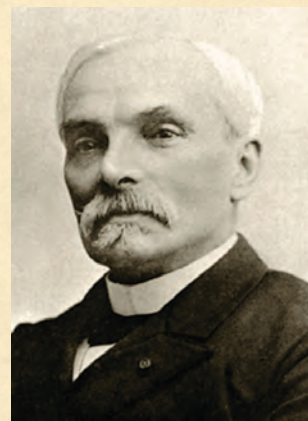
К исходу XIX века был накоплен обширный экспериментальный материал, касающийся взрывных процессов, а также подготовлена теоретическая база, благодаря чему мировое научное сообщество вплотную приблизилось к построению гидродинамической теории детонации.

Экспериментальными исследованиями Берто и Вьеля, а особенно подробными исследованиями Диксона, с применением фотографического метода, проведенными в 80-х гг. XIX века, была установлена очень сложная зависимость процесса распространения детонации от условий опыта и параметров состояния газовой среды. Оказалось, что выше некоторого диаметра скорость детонации не зависит от диаметра трубы, в которую помещалась газовая смесь, не зависит от способов зажигания смеси, кривизны труб (спиральные трубы, зигзагообразные) и материала стенок трубы. Скорость детонации слабо зависела от физического состояния газовой смеси перед воспламенением (давления и температуры), но зависела от состава смеси. Указанные свойства позволяли рассматривать скорость детонации как физическую константу данной газовой смеси. Величины скоростей распространения детонации или, как этот процесс называли в тот период времени французские исследователи, «взрывной волны» (*onde explosive*) по своему порядку очень близки к средним скоростям теплового движения молекул в только что сгоревшем и еще разогретом газе. На основании этого Берто и Вьель предполагали, что во взрывной волне передача тепловой энергии из зоны химической реакции происходит со скоростью молекулярного движения, возникающего в условиях адиабатичности превращения при постоянном давлении. Другими словами, они предположили, что при распространении детонационной волны основную роль играют процессы переноса. Затем появилась работа Г. Б. Диксона, в которой идеи Берто и Вьеля были скомбинированы с идеей влияния зву-

ковой волны. Но такая теория не давала удовлетворительного совпадения с экспериментом. По некоторым данным именно Г. Б. Диксон вме-



Гарольд Бейли
Диксон
(1852–1930)



Франсуа Эрнест
Малляр
(1833–1894)

сто понятия «взрывная волна» ввел термин «детонационная волна».

Наиболее правдоподобные представления о явлении детонации имелись у Малляра и Ле-Шателье, однако свои предположения они не довели до соответствующего конкретного результата. Малляр и Ле-Шателье полагали, что значительное сходство в свойствах между детонацией и явлением распространения звука и сильное повышение давления при детонации позволяют рассматривать детонацию как процесс чрезвычайно быстрого сжатия и последовательного воспламенения газа в результате прохождения интенсивной волны сжатия, так называемой ударной волны, математическая теория которой была создана трудами Римана (1860), Ренкина (1870), Гюгонио (1887–1888) и получила развитие в работах Релея (1910).

Наиболее ясно и подробно эту идею развил в 1890 г. наш соотечественник В. А. Михельсон — профессор Московского сельскохозяйственного

института (теперь сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева). Он впервые попытался применить к явлению детонации готовые результаты теории волн конечной амплитуды. Результаты, полученные Михельсоном в 1890 г., были изложены в его диссертации «О нормальной скорости распространения пламени в гремучих газовых смесях».

Согласно взглядам Михельсона, детонация отличается от обыкновенных звуковых волн нарушением непрерывности изменения некоторых физических параметров и наличием тепловыделения вследствие интенсивной химической реакции, что в сильной степени увеличивает упругость газа, но не столь значительно изменяет его плотность. В своей работе Михельсон отмеча-

распространения детонационной волны. Это указывает на то, что в детонационной волне имеются иные условия, которые не содержатся в обычной ударной волне. Очевидно, что эти условия создаются химической реакцией.

То, что акустическая волна произвольной формы сможет распространяться не деформируясь, т. е. стационарно, только в случае линейной связи давления и удельного объема, впервые отметил Ирншоу. В действительности адиабатическая связь давления нелинейна, и в этом заключается причина открытой Пуассоном и Стоксом и исследованной Риманом деформации акустических волн, приводящей к образованию ударных волн. В 1870 г. Ранкин, рассматривая движение волн конечной амплитуды и определяя условия



Георг Фридрих Бернгард
Риман
(1826–1866)



Джон Уильям Стретт
лорд Рэлей
(1842–1919)



Пьер Анри
Югонио
(1851–1887)



Эрнст
Мач
(1838–1916)

ет: «Вероятно, распространение взрывной волны именно и обязано своим возникновением такому чрезвычайно быстрому адиабатическому сжатию последовательных слоев газа между уже воспламенившимся слоем, с одной стороны, и еще не успевшим сдвинуться с места холодным слоем — с другой...»

Для того, чтобы пламя могло передаваться от одного слоя к другому, необходимо, чтобы уже воспламенившийся слой отдавал прилегающему еще холодному слою достаточно энергии, чтобы довести его до температуры воспламенения... В случае взрывной волны эта энергия передается в виде механической (давления, толчка) и уже только в новом слое мгновенно обращается в тепловую».

Движение волн с конечной амплитудой или ударных волн в инертной среде не происходит с постоянной скоростью. Она с течением времени уменьшается и, наконец, волна становится обычной звуковой волной. Экспериментальные результаты демонстрируют неизменность скорости

их стационарности, пришел к выводу, что для того, чтобы нарушения непрерывности могли перемещаться в упругой среде не изменяясь, необходима определенная связь между давлением и плотностью.

Рассматривая с термодинамической точки зрения детонационную волну, Михельсон в своих рассуждениях опирался на особый характер изменения состояния в волне и оценки конечного состояния при условии заданного стационарного значения скорости волны. В стационарно распространяющемся с одной определенной скоростью процессе, как бы ни протекала химическая реакция, удельный объем и давление вещества должны быть связаны между собой линейно. Данная связь в теории детонации получила название «прямой Михельсона» и была выведена на основе законов сохранения массы и количества движения на фронте ударной волны.

Уравнения Михельсона, указывающего закон изменения состояния в детонационной волне при

данной скорости, недостаточно для определения конечного состояния системы. Поэтому Михельсон в своих рассуждениях ограничивается оценкой температуры в детонационной волне для двух случаев: максимальной температуры и температуры, соответствующей максимуму энтропии. Максимальная температура соответствует точке касания изотермы к прямой Михельсона, а точка касания этой же прямой к адиабате Гюгонио для продуктов взрыва (ПВ) дает температуру, отвечающую максимуму энтропии. Рассматривая систему адиабат Гюгонио, соответствующих различным значениям энтропии, наш соотечественник показывает, что энтропия достигает максимума на прямой Михельсона лишь в точке касания к одной из семейства адиабат Гюго-

уточнив, однако, в 1944 г., справедливость названия последней «прямой Михельсона». В зарубежной литературе данная связь получила название «линии Релея», вероятно в связи с исследованиями Релеем в 1910 г. структуры фронта ударной волны.

Таким образом, базирясь на представлениях о детонации как об ударной волне с выделением энергии во фронте волны, Михельсон первым получил основную систему детонационных уравнений и выражение для скорости распространения детонации. В дальнейшем он не занимался исследованием этого вопроса.

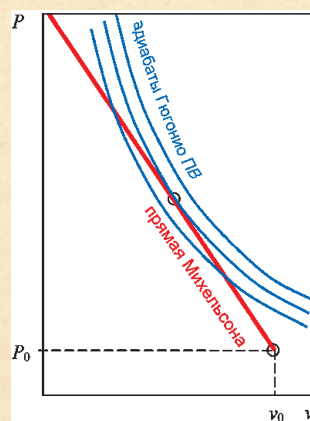
Диссертация Михельсона осталась, по-видимому, неизвестной за границей. Поэтому, в последующем развитии теории детонации условие



Симеон-Дени
Пуассон
(1781–1840)



Владимир Александрович
Михельсон
(1860–1927)



P - v диаграмма



Оскар Моисеевич
Тодес
(1911–1989)

нио. По обе стороны от этой точки вдоль прямой Михельсона пересекающие ее адиабаты характеризуются меньшими значениями энтропии. Точка касания, с термодинамической точки зрения, является наиболее устойчивой, и поэтому состояние системы, отвечающее этой точке, является именно тем, к которому будет стремиться система в процессе самопроизвольного изменения состояния в детонационной волне.

Условие постоянства скорости волны, принятое Михельсоном, являлось новым и важным условием, которое в некотором отношении подобно обычно рассматриваемым условиям изменения системы, таким, как изменение при постоянном давлении (изобарическим), при постоянном объеме (изохорическим). Не зная об этом исследовании Михельсона, наши соотечественники О.М.Тодес и С.В.Измайлов в 1934 г. вывели данную связь и назвали изовелой, т. е. отвечающей постоянной скорости, а Я.Б.Зельдович в 1940 г. назвал данную связь «прямой Тодеса»,

постоянства скорости, важное для правильного анализа явления, долгое время не использовалось, что привело к большим затруднениям в решении задачи о выборе того единственного режима процесса, который отвечает эксперименту.

Продолжительное время считалось, что первым, кто указал на важность применения законов ударных волн к проблеме взрыва, был А.Шустер (1893) — профессор физики университета в Манчестере. Кроме этого, считалось, что первая термодинамическая постановка проблемы детонации дана в 1896 г. французским профессором теоретической физики университета Бордо П.М.Дюгемом.

В 1899 г. руководитель одной из лабораторий Оксфордского университета Д.Чепмен развил математическую сторону теории детонации и рассчитал скорость детонации, предполагая, что она минимальная из возможных. Сама зона реакции не рассматривалась, но, как бы ни шла реакция внутри этой зоны, количество поступившего

в зону вещества равно количеству выданных продуктов; энергия вещества, поступающего в зону реакции (содержащего еще не высвобожденную химическую энергию), равна энергии продуктов реакции, покидающих зону реакции, в продуктах химическая энергия переходит в основном в тепловую. Чепмен в своих рассуждениях допустил, что в точке, отвечающей минимальной скорости детонации на адиабате Гюгонио, система должна обладать максимумом энтропии.

В большинстве случаев, со всей точностью, которую можно было бы разумно требовать в тот период времени, измеренная скорость детонации совпадала с минимальной скоростью, возможной вообще на адиабате Гюгонио прореагировавшего вещества. Последнее расценивалось как одно-

Этьенна Э. Жуге независимо от Чепмена, пользуясь законами сохранения и рассматривая энтропию процесса, показал, что последняя достигает минимума в точке на кривой Гюгонио, которая соответствует звуковой скорости продуктов реакции относительно фронта детонационной волны. Эта точка была постулирована им как определяющая скорость детонации и состояние продуктов реакции. Позже условие минимума энтропии было получено Беккером.

При этом следует отметить, что сравнивались состояния не вдоль прямой Михельсона, как собственно это делал сам Владимир Александрович, а на кривой Гюгонио. Каждая из точек этой кривой соответствует разным скоростям, т. е. разным прямым Михельсона и, следовательно, раз-



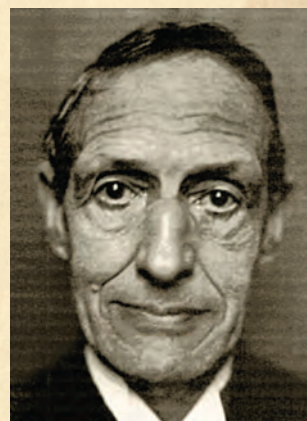
Сергей Валентинович
Измайлов
(1909–1985)



Артур
Шустер
(1851–1934)



Пьер Морис
Дюгем
(1761–1916)



Дэвид Леонардо
Чепмен
(1869–1958)

значное подтверждение справедливости гипотезы Чепмена.

Его работа инициировала вопрос отбора скорости детонации, отвечающий стационарному режиму. Д. Чепмен, за рубежом считающийся автором гидродинамической теории детонации, первый предложил гипотезу о том, что детонации соответствует минимальная скорость, которая на графике в координатах $P-v$ изображается прямой, касающейся кривой Гюгонио в некоторой точке. Опыт оправдал это предположение, однако теоретическое обоснование такого отбора было неубедительным. Оказалось, что точка касания являлась одновременно и точкой касания к адиабате Пуассона, отвечающей изэнтропическому процессу. При этом взаимном расположении адиабаты Пуассона и адиабаты Гюгонио, в точке касания должен быть минимум энтропии, а не максимум, как думал Чепмен.

В 1905–1906 гг. французский профессор теоретической механики Горного института Сент-

Этьенна Жуге независимо от Чепмена, пользуясь законами сохранения и рассматривая энтропию процесса, показал, что последняя достигает минимума в точке на кривой Гюгонио, которая соответствует звуковой скорости продуктов реакции относительно фронта детонационной волны. Эта точка была постулирована им как определяющая скорость детонации и состояние продуктов реакции. Позже условие минимума энтропии было получено Беккером.

При этом следует отметить, что сравнивались состояния не вдоль прямой Михельсона, как собственно это делал сам Владимир Александрович, а на кривой Гюгонио. Каждая из точек этой кривой соответствует разным скоростям, т. е. разным прямым Михельсона и, следовательно, разным явлениям, разным процессам. А значит, нет противоречия в том, что в одной точке достигается максимум вдоль прямой Михельсона и минимум вдоль адиабаты Гюгонио.

Соответствующий режим распространения детонации в изложении Жуге отличается тем замечательным свойством, что скорость распространения звука в продуктах сгорания в точности равна скорости распространения детонации относительно продуктов сгорания. Эквивалентность гипотез Чепмена и Жуге была строго доказана в 1907 г. французом, профессором Горного института в Сент-Этьенне Л. Крюссаром.

Позже, в подробных теоретических исследованиях Жуге и Крюссара, выбор точки в координатах $P-v$, определяющей скорость детонации, обоснован в значительно большей степени. Они показали чисто аналитически, что все волны, за исключением волны, отвечающей касанию прямой постоянной скорости к адиабате Гюгонио, должны перемещаться с ускорением (положительным

или отрицательным). Для состояний, лежащих выше точки касания прямой Михельсона к адиабате Гюгонио, волна разрежения, движущаяся со скоростью звука в продуктах взрыва, догоняет фронт детонации и ослабляет его. Ускорение отсутствует только в точке касания. Физически это связано с тем, что в этой точке скорость распространения ударной волны по отношению к среде, движущейся за фронтом, равна скорости распространения звуковой волны. Таким образом удалось доказать невозможность построения стационарного режима детонации для состояний, отвечающих верхним пересечениям прямой Михельсона и адиабаты Гюгонио.

Однако многочисленные попытки исключить при помощи гидродинамических или тер-



Жак Шарль Эмиль
Жуге
(1871–1943)



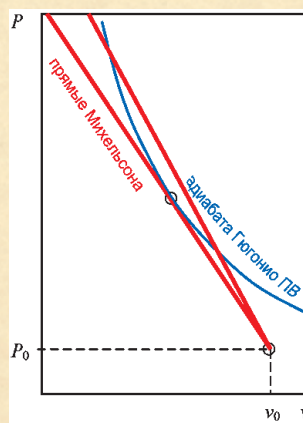
Жюль Луи
Крюссар
(1876–1959)

модинамических аргументов состояния, отвечающие нижним пересечениям прямой Михельсона и динамической адиабаты, оказывались неудовлетворительными и ошибочными. Важнейшей задачей гидродинамической теории детонации оставалась задача строгого обоснования единственно возможного режима распространения детонации, отвечающего минимальной скорости.

Необоснованность единственно возможного с точки зрения гидродинамической теории детонации режима распространения детонации, или, другими словами, необоснованность условия Чепмена – Жуге, побуждала исследователей к построению альтернативных теорий распространения детонации.

Уместно в этой связи упомянуть о попытке построить теорию детонации с позиций чисто химических. Такая попытка была сделана Б. Льюисом, который предположил, что детонация есть процесс быстрой передачи реакции от слоя к слою газа посредством активных центров, кото-

рые выбрасываются из зоны горения и движутся со средней поступательной скоростью молекул, отвечающей температуре зоны горения. Соответственно этому, скорость детонации отождествлялась со скоростью движения тех или иных молекул, атомов или радикалов в продуктах реакции. Сторонники данной теории так и не смогли прийти к единому мнению, какая именно — средняя или среднеквадратическая, или еще какая-нибудь скорость молекул должна войти в расчет. К тому же, как показали расчеты, теория недостаточно хорошо согласовывалась с экспериментом. Льюис указывал на желательность слияния его «цепной теории скорости детонации» с гидродинамической теорией Михельсона – Чепмена – Жуге. Последователи гидродинамической



P-v диаграмма



Ричард
Беккер
(1887–1955)

теории детонации придерживались мнения, что она вряд ли что-нибудь выиграет от такого слияния.

Курьеза ради, можно упомянуть о «резонансной теории детонации», согласно которой квантово-механический резонанс между состояниями среды до и после прохода детонационной волны, мистическим образом способствует протеканию химической реакции. По сути, данные взгляды были неудачным развитием «синхронической теории детонации», предложенной Ф. А. Абелем в 1861 г.

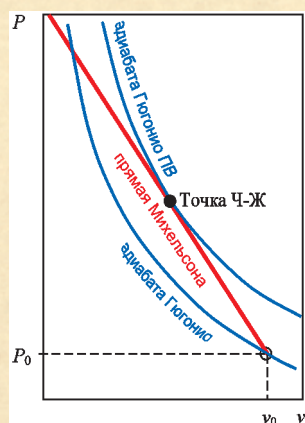
Против поджигания ударной волной выступал также немецкий исследователь Р. Беккер — первоначально биолог по образованию. Он защитил кандидатскую, а впоследствии и докторскую по зоологии. Воодушевленный лекциями, прочитанными А. Зоммерфельдом, он увлекся физикой, занимался изучением взрывчатых веществ, а в 1922 г. защитил докторскую диссертацию под руководством М. Планка. По аналогии с теорией

ударной волны Р. Беккер полагал, что в переносе реакции от слоя к слою играет роль теплопроводность. При этом Беккер, не исследуя более подробно вопрос, указывает на пример распространения ударной волны, в которой рост энтропии происходит в последнем счете за счет диссипативных процессов, прежде всего теплопроводности во фронте. «Теплопроводностная теория детонации» не подвергалась обоснованной критике вплоть до 1940 г., когда Я. Б. Зельдович строго показал необоснованность данной теории и, более того, попытался выяснить внутренние причины ошибки Беккера.

Несмотря на широкий выбор теорий, объясняющих природу распространения детонации, подавляющее большинство исследователей были



Вальтер Герман
Нернст
(1864–1941)



P - v диаграмма

Дюгему в 1906 г. доказать, что волны, появляющиеся в газе при движении поршня с ускорением, догоняют друг друга (кумулируются) и образуют мощную ударную волну.

Позже, в 1920-х гг., рассматривая перескакивающую детонационную волну, Г. Нернст и Р. Вендлант подчеркнули аналогию с простой ударной волной без химической реакции, которая также догоняется и ослабляется волнами разрежения сзади. Напротив, детонационная волна, для которой выполняется условие Чепмена – Жуге, подобна звуковой волне и обращается в звуковую волну при тепловом эффекте реакции, стремящемся к нулю.

Так, в начале XX века были сформулированы основные положения гидродинамической теории



Яков Борисович
Зельдович
(1914–1987)

детонации. Полученное Михельсоном, Чепменом и Жуге решение, несмотря на его теоретическую необоснованность, давало хорошее совпадение с экспериментальными результатами. Большое количество измерений скорости детонации, произведенных различными авторами, давали величины, неизменно совпадающие с расчетами по теории Михельсона – Чепмена – Жуге

(МЧЖ). Однако теория МЧЖ не объясняла ряда явлений и, самое главное, пределов распространения детонации.

В 1940 г. Я. Б. Зельдович отметил: «Вплоть до последнего времени гидродинамическая теория скорости детонации, прекрасно подтвержденная на опыте, создавала иллюзию успокоенности, не побуждала к поискам механизма химических реакций, к исследованию условий на фронте детонационной волны».

сторонниками гидродинамической теории. При этом внешняя аналогия теории детонации и теории ударной волны сыграла злую шутку со сторонниками гидродинамической теории. В ударной волне, как известно, изменение состояния происходит на длине свободного пробега молекул в газе. Аналогия детонации и ударной волны наталкивала исследователей на мысль, что фронт детонации столь же резок, как и фронт ударной волны. В пользу «мгновенной реакции» высказывался Жуге. Можно думать, хотя это явно не формулировалось, что подавляющее большинство сторонников гидродинамической теории предполагали практически мгновенное химическое превращение после адиабатического сжатия в ударной волне.

Несмотря на это, работы, подтверждающие гидродинамическую теорию детонации, продолжали появляться. Так, например, исследование вопроса возникновения ударной волны при сжатии газа поршнем позволило Жуге в 1904 г. и

СМИРНОВ Евгений Борисович –
научный сотрудник РФЯЦ-ВНИИТФ
ПРОСВИРНИН Кирилл Михайлович –
младший научный сотрудник РФЯЦ-
ВНИИТФ

ВЛАСТЬ ПО АРИСТОТЕЛЮ

В. Л. МАХНАЧ

Различные формы власти существуют уже много тысяч лет, и республики представляют собой, видимо, такие же древние образования, как и монархии.

Аристотель — первый, кто написал трактат о политике, точнее, трактат, до нас дошедший. Ему принадлежит учение о трех основных видах власти:

- монархии, которая есть власть одного;
- аристократии, которая есть — дословно — власть лучших;
- политии — власти полноправных граждан.

Одних только видов монархий у Аристотеля описано шесть, и, что очень интересно, каждая форма власти имеет свою особую разновидность, которую автор «Политики» именует «искажением». Для монархии искажение — это тирания, власть одного себялюбца.

Искажением аристократии является олигархия, собственно, власть богатых. (Сегодня мы употребляем термин «олигархия» в более широком смысле. Искажением политии Аристотель считал демократию, то есть власть, не ограниченную цензом, власть всего населения.

С этими терминами тоже произошла некоторая эволюция — еще в античную эпоху. Вместо «политии» говорили «демократия» — отнюдь не в предосудительном смысле слова, поскольку подразумевалась именно ограниченная демократия, власть граждан. А вместо аристотелевой «демократии», имеющей негативное значение, устоялся термин «охлократия», то есть власть толпы (охлос — толпа). Однако суть не изменилась.

Три формы и три искажения. И человечество прожило века с теми же тремя видами и с теми же тремя искажениями, которые принимали тот или иной исторический и культурный облик. Попытки найти четвертую форму власти неизменно оказывались неубедительными. Так, в 1960-е гг. появилась теория так называемой партократии, якобы четвертой формы власти, созданной социализмом, но на практике она оказывалась контаминацией различных форм искажений, чаще всего — охлократии и олигархии. (Партократия может порождать и тиранию как свое собственное орудие — хотя тиран, как ему и подобает, в конце концов подминает под себя партийную структуру). Во всяком случае, четвертого вида



власти, видимо, не существует, зато три классических варьировались много раз.

Идеальной властью Аристотель считал монархию, правда, в особом, опять-таки идеальном, смысле этого слова, когда монархом является самый достойный член общества, уже в силу этого полагающий все свои силы только на благо социума.

Хуже, по мнению Аристотеля, была аристократия, еще хуже — полития. А вот оценка искажений у него прямо противоположная: демократия, с его точки зрения, немногим отличается от политии, олигархия значительно хуже аристократии, а самое омерзительное искажение — тирания. То есть лучшая форма власти порождает наихудшее искажение. В «Политике» описано, как охлократия легко и органично порождает тиранию, как образуются системы, объединяющие две, а иногда и три какие-то формы. Ни одна из форм власти сама по себе не хороша и не плоха, но в искаженном варианте она всегда отвратительна.

Развивая идеи Аристотеля, греческий историк уже римского времени Полибий пришел к очень интересному наблюдению. Самая совершенная форма власти — государство, в котором политическая система включает в себя элементы монархии, аристократии и демократии. Для Полибия это был Рим. Консульская власть или власть диктатора (если избирался диктатор) — монархический элемент. Сенат — аристократический. Римское народное собрание в комициях и в лице должностных лиц демократии, то есть плебейских эдилов и плебейских трибунов, — демократический элемент.

МАХНАЧ Владимир Леонидович —
ведущий научный сотрудник Национального
института развития РАН

ВОКРУГ ХАНОЙСКОЙ БАШНИ

С. В. ФАДЕЕВ, гимназия № 2
Научный руководитель В. В. Вавилов

Существует древнеиндийская легенда, согласно которой в городе Бенаресе под куполом главного храма, в том месте, где находится центр Земли, на бронзовой площадке стоят три алмазных стержня. В день сотворения мира на один из этих стержней было надето 64 кольца. Бог поручил жрецам перенести кольца с одного стержня на другой, используя третий стержень в качестве вспомогательного. Жрецы были обязаны соблюдать следующие условия: переносить можно за один ход только одно кольцо; кольцо можно переносить на другой стержень, если оно имеет меньший диаметр, чем находящееся на стержне верхнее кольцо, или стержень свободен. Согласно легенде, когда, соблюдая все условия, жрецы перенесут все 64 кольца, наступит конец света.

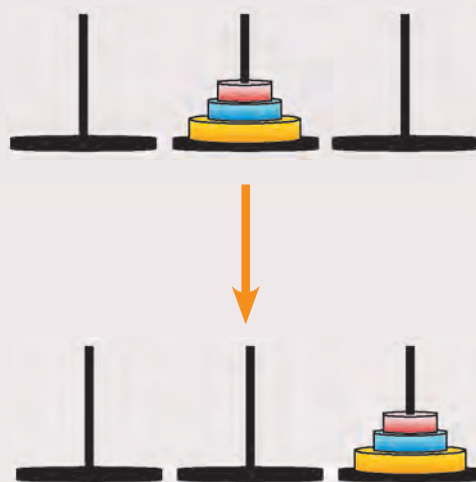


Модель Ханойской башни с восемью дисками

Познакомившись с некоторыми научными и популярными материалами, я пришел к выводу о том, что найти разгадку данной легенды и выяснить, когда же наступит конец света, можно, решив математическую задачу, сформулированную Эдуардом Люком в 1883 г.

В классическом случае даны три стержня, на один из которых нанизаны восемь колец. Кольца отличаются размером диаметра и лежат друг на друге по мере уменьшения диаметра. Задача состоит в том, чтобы перенести кольца с одного стержня на другой за наименьшее число ходов. За один ход разрешается переносить только одно кольцо, причем нельзя класть кольцо большего диаметра на кольцо меньшего диаметра.

Рассмотрим решение задачи в общем виде. Начнем со случая, когда на стержне расположены 3 кольца.



Три кольца можно переложить на другой стержень за 7 ходов.

Рассмотрим случай для четырех колец. Очевидно, что первые 7 ходов будут такими же, как и в случае с тремя кольцами. После седьмого хода, кольца на стержнях располагаются следующим образом (см. рисунок).

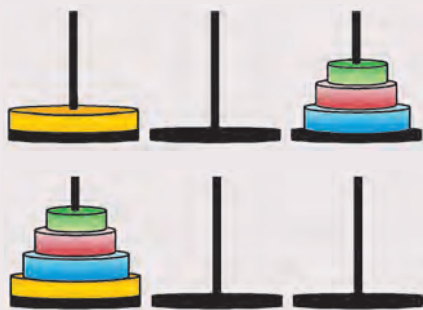


Далее перекладывается нижнее кольцо на другой стержень и за 7 ходов перекладываются три кольца на самое большое кольцо.

Таким образом, 4 кольца можно перенести с одного стержня на другой за 15 ходов. Для переноса 5 колец потребуется 31 ход, а для переноса 6 колец — 63 хода. Рассмотрев задачу для разного количества колец, мы получили следующую числовую последовательность: 1 (для одного кольца), 3 (для двух колец), 7, 15, 31, 63... Можно заметить, что данная последовательность чисел удовлетворяет функциональной зависимости:

$$S_n = 2n1,$$

где: n — количество колец, S_n — наименьшее количество ходов для перекладывания n колец с одного стержня на другой.



Предположим, что данное утверждение верно для n колец. Докажем, что оно верно и для $(n+1)$ колец. На примере 4 колец можно заметить, что после того, как мы сделали $7 = 2^3 - 1$ ходов, перемещая 3 кольца с одного стержня на другой, перекладываем последнее кольцо на свободный стержень (т. е. делаем еще один ход) и повторяем еще раз $(2^3 - 1)$ ходов. Таким образом, имеем 15 ходов. Возьмем $(n+1)$ колец. За $(2n-1)$ ходов переложим на другой стержень все кольца, кроме последнего. Затем перекладываем нижнее кольцо на свободный стержень. Далее за $(2n-1)$ ходов переложим все остальные кольца на нижнее, самое большое кольцо. Всего получится $2(2^n - 1) + 1$ ходов или $(2^{n+1} - 2 + 1) = (2^{n+1} - 1)$ ходов, что и требовалось доказать.

Таким образом, с помощью метода математической индукции доказано, что n колец можно переложить с одного стержня на другой за $(2n-1)$ ходов при условии, что за один ход разрешается переносить только одно кольцо и нельзя класть кольцо большего диаметра на кольцо меньшего диаметра.

По легенде требовалось переложить 64 кольца. По формуле $S_n = 2^n - 1$ для этого нужно сделать 18 446 744 073 709 551 615 ходов. Если предположить, что для перекладывания одного кольца необходимо затратить одну секунду, то 64 кольца монахи будут перекладывать 584 942 417 355 лет, то есть апокалипсис наступит не скоро.

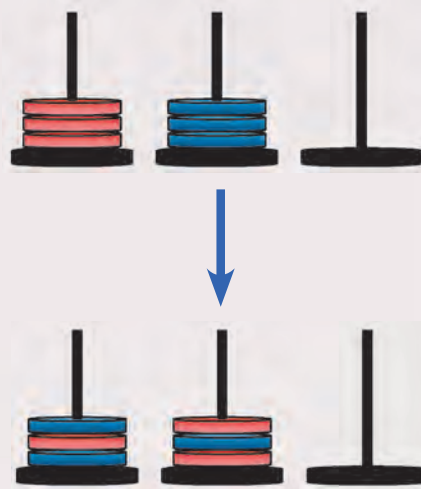
Однако, решив классическую задачу о Ханойской башне, я заинтересовался, а какие еще задачи с использованием «детских пирамидок» можно придумать и решить?!

Вот, например, еще одна задача:

На столе находятся три стержня. На первый стержень стопкой надели n красных колец, на второй — n синих, третий стержень пуст. Все кольца имеют одинаковый диаметр. За один

ход разрешается снять верхнее кольцо с любого стержня и надеть его на любой другой стержень поверх имеющихся на нем колец. На стержень можно помещать любое количество колец. Требуется переложить кольца так, чтобы они снова лежали на первых двух стержнях, но чтобы их цвета чередовались. При этом на первом стержне чередование должно начинаться с синего кольца, считая снизу, а на втором — с красного.

Решение данной задачи для 3-х колец приведет нас к ответу: за 10 ходов.



Количество ходов $S_3 = 10$. Для четырех колец потребуется 14 ходов.

Рассмотрев решение задачи для большего количества колец, я получил следующие результаты: для $n = 5$ число ходов равно 17, для $n = 6 - 21$ ход. Мы получили ряд чисел: 3, 7, 10, 14, 17, 21... Можно заметить, что эти числа удовлетворяют следующей функциональной зависимости:

$$S_n = 3n + [n/2].$$

С помощью метода математической индукции можно доказать, что это минимальное количество ходов, за которое можно переложить диски так, чтобы они снова лежали на первых двух стержнях, но чтобы их цвета чередовались.

Меня также заинтересовала другая задача о двойной Ханойской башне. Двойная ханойская башня состоит из $2n$ колец n различных размеров — по два кольца каждого диаметра. Как и в классической задаче о Ханойской башне разрешается за один ход перекладывать только одно кольцо и нельзя класть кольцо большего диаметра на кольцо меньшего диаметра.

а) Сколько перекладываний необходимо для перемещения двойной башни с одного стержня на другой, если кольца одинаковых размеров неотличимы друг от друга?

б) Сколько перекладываний необходимо совершить, если в окончательном расположении колец требуется воспроизвести исходный порядок всех одинаковых колец снизу доверху?

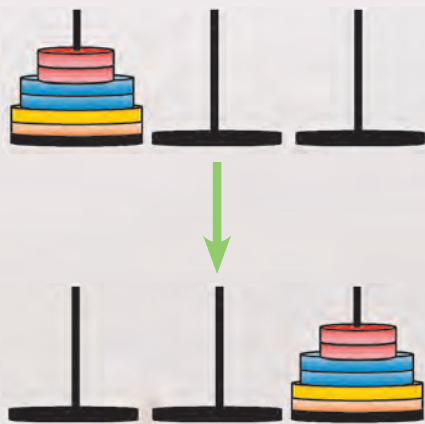
а) Рассмотрим случай для 6 колец 3 различных размеров ($n = 3$).

Очевидно, что для двойного количества колец мы пользуемся тем же самым алгоритмом, что и для обычной ханойской башни. Перемещаем вначале двойную ($n - 1$) — башню, затем перекладываем (с изменением порядка) два самых больших кольца, а на них снова помещаем двойную ($n - 1$) — башню. Таким образом, количество ходов в данном случае равно $A_n = 2A_{n-1} + 2$. Количество ходов для двойной башни в два раза больше, чем для обычной.

$$A_n = 2(2^n - 1) = 2^{n+1} - 2,$$

где A_n — число перекладываний двойной башни; n — количество колец разных размеров. Это решение меняет местами два самых больших кольца, но сохраняет исходный порядок других $2n - 2$ колец.

б) Теперь рассмотрим случай для трех пар колец, но так, чтобы порядок расположения одинаковых колец был таким же, каким был изначально.



Определимся с алгоритмом перекладываний для данного случая.

Сначала мы перекладываем $2(n - 1)$ колец, затем совершаем 1 ход, перекладывая одно из двух оставшихся колец. Далее мы перекладываем $2(n - 1)$ колец, а затем кладем последнее кольцо на свободный стержень. Затем опять перекладываем $2(n - 1)$ колец и кладем предпоследнее кольцо на последнее кольцо того же размера (сохраняя начальный порядок расположения этих колец). И в конце снова перекладываем $2(n - 1)$ колец на стержень, где лежат два оставшихся кольца. Эти кольца так же не поменяют свое по-

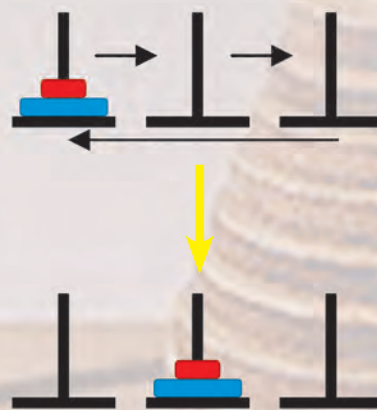
ложение относительно исходного, так как число их перекладываний четное, а каждое второе перекладывание двух колец приводит их в то же положение относительно друг друга, что и изначально. Обозначим через B_n минимальное число перекладываний. $B_1 = 3$,

$$\begin{aligned} B_n &= A_{n-1} + 1 + A_{n-1} + 1 + A_{n-1} + 1 + A_{n-1} = \\ &= 4(2^n - 2) + 3; \\ B_n &= 2^{n+2} - 5. \end{aligned}$$

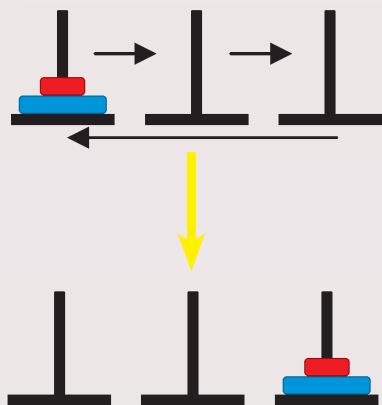
При решении некоторых задач достаточно сложно получить окончательную точную формулу для подсчета количества ходов, однако можно найти алгоритм их решения и вывести зависимость общего члена от предыдущего, т. е. составить рекуррентные соотношения. Рекуррентность задается начальным значением и зависимостью общего члена от предыдущих. Она позволяет вычислить количество ходов для любого n . Рекуррентность дает только косвенную, локальную информацию. Один из способов решения рекуррентных соотношений состоит в угадывании правильного решения с последующим доказательством, что наша догадка верна.

Рассмотрим предложенную в книге Р.Грэма, Д.Кнута, О.Поташника «Конкретная математика» задачу, в которой сформулировано следующее условие: пронумеруем стержни цифрами 1, 2, 3. На первом стержне нанизаны кольца в правильном порядке в виде башни. Нужно перенести кольца с одного стержня на другой, но проводить перекладывания можно по заранее заданному графу. Например, рассмотрим такой граф: можно перекладывать кольца с 1-го стержня на 2-й, со 2-го на 3-й и с 3-го стержня на 1-й стержень, другими способами перекладывать кольца нельзя. В этом случае нас будут интересовать минимальные числа перекладываний: с 1-го стержня на 2-й и с 1-го на 3-й.

Рассмотрим случай для двух колец.



Чтобы переложить два кольца на 2-й стержень, необходимо сделать 5 ходов.



Но чтобы переложить два кольца с первого стержня на третий, нужно совершить 7 ходов.

Так же я рассмотрел случай для трех колец. Чтобы переложить 3 кольца с первого стержня на второй, мы сначала перекладываем два кольца с первого стержня на третий (7 ходов). Потом совершаем еще один ход, перекладывая третье, самое большое кольцо на соседний стержень. И снова перекладываем два кольца с третьего на 2-й стержень, что также займет 7 ходов, т. е. всего необходимо 15 ходов. Для перекладывания 3-х колец с первого стержня на третий потребуется сделать 21 ход.

Алгоритм перекладываний n колец с первого стержня на второй будет следующим: перекладываем $(n - 1)$ колец на третий стержень, затем переносим самое большое кольцо на второй стержень, и снова перекладываем $(n - 1)$ колец на второй стержень с третьего.

Алгоритм перекладывания n колец с первого стержня на третий будет следующим: перекладываем $(n - 1)$ кольцо с первого стержня на третий, затем n -ное кольцо кладем на второй стержень, снова перекладываем $(n - 1)$ кольцо, но уже на первый стержень с третьего, после чего совершаем еще 1 ход для переноса самого большого кольца со второго стержня на третий, а потом перекладываем оставшиеся $(n - 1)$ кольцо с первого стержня на третий.

Таким образом, мы получаем следующее рекуррентные соотношения: $Q_n = 2R_{n-1} + 1$; $R_n = Q_n + Q_n - 1$, если $n > 0$, Q_n и R_n минимальное число перекладываний для перемещения башни из n колец с 1-го стержня на 2-й и с 1-го стержня на 3-й соответственно.

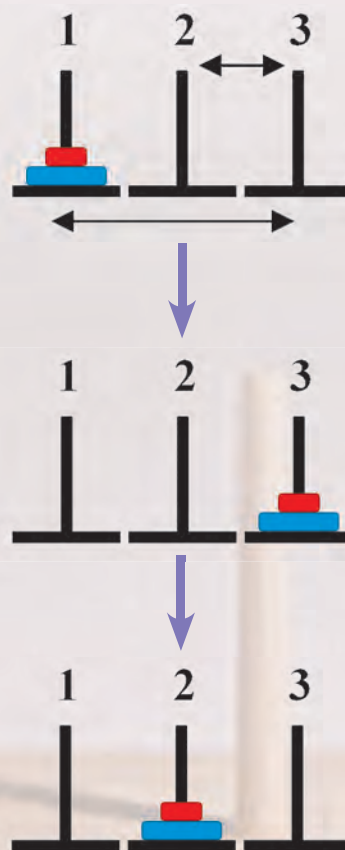
Решение рекуррентных соотношений взято из книги Р. Грэхема, Д. Кнута, О. Поташника «Конкретная математика» и имеет вид:

$$Q_n = \frac{\left((1 + \sqrt{3})^{n+1} - (1 - \sqrt{3})^{n+1} \right)}{2\sqrt{3}} - 1;$$

$$R_n = \frac{(2 + \sqrt{3})(1 + \sqrt{3})^n - (2 - \sqrt{3})(1 - \sqrt{3})^n}{2\sqrt{3}} - 1.$$

Не менее интересной, на мой взгляд, является следующая задача. Пронумеруем стержни цифрами 1, 2, 3. На первом стержне нанизаны кольца в правильном порядке в виде башни. Нужно перенести кольца с первого стержня на другой стержень, но проводить перекладывания можно по заранее заданному графу: перекладывать кольца можно с 1-го стержня на 3-й и обратно, с 3-го стержня на 2-й и обратно, но нельзя перекладывать кольца с 1-го стержня на 2-й и обратно. В этом случае нас будут интересовать минимальные числа перекладываний колец: с 1-го стержня на 2-й и с 1-го стержня на 3-й.

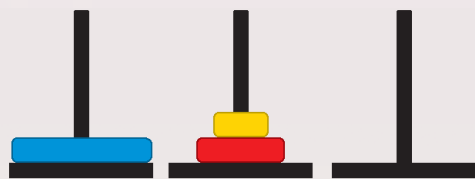
Начнем решение с рассмотрения случая для двух колец. Чтобы переложить 2 кольца с первого стержня на третий, нам необходимо сделать 4 хода. А чтобы переложить кольца с первого стержня на второй требуется 8 ходов.



Рассмотрим краткий алгоритм перекладывания 3-х колец.



1–4



5–8



9



10–13

На этом примере видно, что для n колец перекладывания будут проходить следующим образом. Сначала мы перекладываем $(n - 1)$ кольцо на второй стержень, затем мы делаем еще один ход, перекладывая n -ое кольцо на 3-й стержень. Далее перекладываем $(n - 1)$ кольцо также на третий стержень. Таким образом, количество ходов Q_n , необходимых для перекладывания n колец с первого на третий стержень, выражается следующим рекуррентным соотношением: $Q_n = R_{n-1} + 1 + Q_{n-1}$, если $n > 0$, где R_{n-1} и Q_{n-1} — количество ходов, необходимых для перекладывания $(n - 1)$ колец с первого стержня на второй и с первого стержня на третий соответственно.

Количество же ходов R_n , необходимых для перекладывания n колец с первого на второй стержень, можно найти, действуя по следующему алгоритму: перекладываем $(n - 1)$ кольцо на второй стержень; затем переместим самое большое кольцо на третий стержень; снова переложим $(n - 1)$



На IX школьных Харитоновских чтениях, 2009 г. Слева направо: В. Т. Пунин и лауреат IX школьных Харитоновских чтений по математике С. В. Фадеев МОУ «Гимназия № 2» г. Саров

кольцо обратно на первый стержень; и, наконец, перекладываем последнее кольцо и оставшиеся $(n - 1)$ кольца на второй стержень.

Таким образом, мы можем записать выражение, позволяющее найти число ходов, необходимых для перекладывания n колец с первого стержня на второй: $R_n = 3R_{n-1} + 2$.

В данной задаче решение рекуррентных соотношений даст нам следующие результаты:

$$Q_n = (3^n - 1) / 2;$$

$$R_n = 3^n - 1.$$

Разобрав и решив множество различных задач о Ханойской башне, я пришел к выводу, что, несмотря на внешнюю схожесть, каждая из этих задач уникальна и интересна для решения. Даже малейшие изменения в условии классической задачи приводят к полному изменению алгоритма перекладывания колец и как следствие к абсолютно разным ответам. Рассмотренные в работе задачи, на мой взгляд, показывают, что даже из, казалось бы, ненавязчивой детской задачи о перекладывании колец с одной пирамидки на другую, можно получить серьезную и достаточно сложную математическую задачу, развивающую логику и основные математические навыки учащихся.

«Ходя» вокруг Ханойской башни, можно обнаружить много новых и интересных задач, что я и стремился показать в своей работе.

САРОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ КРАЕВЕДЧЕСКИЙ МУЗЕЙ

Н. Л. ОСТРИАНСКАЯ

Наша саровская земля — место, где удивительная цепь событий привела к нынешнему совместному существованию православной духовной святыни — Саровского монастыря и Российского федерального ядерного центра. Исследовать и сохранить историю этого уникального «духовного магнита» Земли — особая честь и колоссальная ответственность.



Здание, где в 1957 г. располагался городской музей



*Виолетта Михайловна
Лукьянова
(директор музея
в 1957–1997 гг.)*



*Нина Леонидовна
Острианская
(1997 г. — по наст. время)*

Саровский краеведческий музей посещают в год примерно 30 тысяч человек. «Огромное спасибо за сохранение исторического наследия этих святых мест» — такие слова записаны в книге отзывов музея. Их оставила великая княгиня Мария Владимировна, побывавшая в нашем городе в августе 2003 г. на торжествах по случаю 100-летия канонизации преподобного Серафима Саровского. Эта и сотни других подобных записей подтверждают: многолетняя исследовательская и просветительская деятельность сотрудников краеведческого музея рождает в сердцах посетителей искреннюю благодарность.

История создания нашего музея началась в далеком 1956 г. По тогдашним режимным условиям дети, живущие в городе, не имели возможности выезжать за его пределы, бывать в музеях ближайших городов. И тогда, исполкомом городского совета от 25 сентября 1956 г., было принято решение — создать в 1957 г. музей, чтобы дети могли познакомиться с историей и природой родного края. В этом решении говорилось также о том, чтобы просить директора «Объекта» Б.Г.Музрукова выделить для музея отдель-



*Первый экспонат музея — макет Саровского монастыря,
1903 г. Автор неизвестен.*

ное здание. Такое здание вскоре нашлось — одно из строений бывшей лесоустроительной конторы Саровского монастыря. Было выделено 15 тысяч рублей для приобретения экспонатов. В.М. Лукьянова, первый директор музея, обратилась в Московский зоокомбинат, где были изготовлены чучела зверей и птиц, ставшие первыми экспонатами.

Так появилась первая экспозиция музея — «Животный мир нашего края». С именем Виолетты Михайловны Лукьяновой связана целая эпоха в истории музея. Именно при ней установились столь необходимые научные контакты с коллегами из московских и нижегородских музеев, Мордовского заповедника, Ленинградского музея этнографии. С 1965 г. ведет начало сотрудничество с НИИ музееведения (впоследствии Музей революции), который долгое время был для работников нашего музея и методическим центром, и поставщиком научных материалов.

Историей города и Саровского монастыря тогда, в 1950–1960-е гг., официально заниматься было запрещено. Но в начале 1960-х гг. сотрудникам музея стало известно о находящемся в Саранском краеведческом музее макете Саровского монастыря, он был в очень плохом состоянии. За макетом был командирован сотрудник музея П.П. Вакулик, так появился первый исторический экспонат. Этот макет до сих пор можно видеть в экспозиции нашего музея. Он послужил как бы эталоном для последующих многочисленных копий.

Конечно же, многих интересовала история этих мест. При музее в конце 1960-х гг. образовалась группа краеведов-энтузиастов. Начались поездки по окрестностям — в Арзамас,

Горький, Саранск в поисках экспонатов, отражающих историю города. И когда в 1967 г. музею была предоставлена половина здания бывшей монастырской гостиницы, началась работа по созданию отделов по истории города. В музее существовали 4 раздела постоянной экспозиции: «Животный мир нашего края», «Палеонтология и антропология», «Быт дореволюционной деревни», «Ветераны гражданской и Великой Отечественной войн — жители города». В выставочном зале музея устраивались художественные и тематические выставки.

В 1981 г. было принято решение: передать музею полностью все здание, которое он делил долгие годы с Отделом внутренних дел. Но решение это затянулось на несколько лет. Только лишь в 1992 г. была начата реконструкция всего здания. В январе 1997 г. закончился ремонт. Музей получил возможность создать экспозицию по истории города с 1946 г. по настоящее время, значительно расширить экспозицию по истории Саровского монастыря, этнографии, истории оборонного завода № 550, выпускавшего в поселке Саров боеприпасы.

Сейчас в музее 11 разделов основной экспозиции, экскурсии и лекции проводятся по 20 темам. Появился свой лекционный зал. Выставочный зал на улице Юности, открытый в сентябре 1988 г., верой и правдой служил городу. Сейчас он стал тесен. В мае 2008 г. город получил прекрасный подарок — новую художественную галерею.

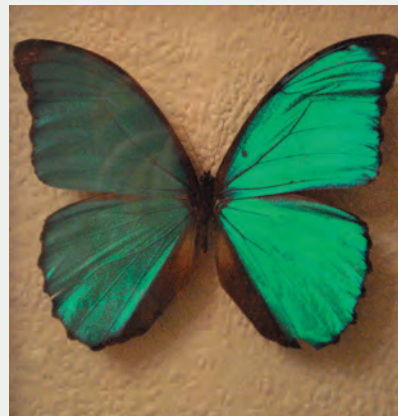
Пройдемся по залам нашего музея. В зале, посвященном происхождению жизни на Земле, разглядывая застекленные ниши, посетитель переносится на сотни миллионов лет назад, встре-



В.М. Лукьянова с ветераном войны В.И. Ивановым на встрече школьников, 1985 г.



Сотрудники музея. Слева направо, нижний ряд: А.Ф. Григорьева, В.М. Лукьянова, А.П. Вершинина, К.К. Балыева; верхний ряд: С.А. Симонова, Р.Н. Ведерникова, А.С. Ломовская, 1977 г.



чается с животными и растениями древних периодов, узнает, как жил древнейший человек. Здесь представлены интересные находки — орудия труда первобытного человека, найденные в окрестностях Сарова.

Биологическая коллекция отражает многообразие животного мира юга Нижегородской области и севера Мордовии. Есть и коллекции тропических птиц, бабочек, насекомых.

Предметы, собранные в течение 10 полевых сезонов археологических раскопок на территории города, позволяют с уверенностью говорить об определенном социально-экономическом статусе средневекового финно-угорского поселения. Здесь изделия из железа и медных сплавов, из кости, камня, стекла и керамики. Есть предметы домашней утвари, орудия труда, вооружения, культовые. Кажется, что рядом с ними и время останавливает свой бег.

История Саровского монастыря в нашем музее начиналась со старого макета монастыря, сделанного саровским монахом к моменту приезда в Саров Николая II. Этот макет был пере-

дан нам из Саранска и тщательно отреставрирован. Экспозиция музея отражает становление Саровской обители и первые десятилетия ее существования, историю жизни преподобного Серафима Саровского, торжества 1903 г. по случаю причисления иеромонаха Серафима к лику святых. Не так давно появился новый раздел о связях с Санаксарским монастырем, истории трудов старца Феодора, героическом пути его племянника — адмирала Ф. Ф. Ушакова.

Этнографическая коллекция представлена двумя экспозициями: «Крестьянский быт конца XIX — начала XX веков» и «Городской быт рубежа веков». Ничто не воплощает мироощущение народа, его дух так глубоко, всесторонне и выразительно, как жилище. Обстановка деревенской избы воссоздана с исторической достоверностью.

В экспозиции собрано много подлинных документов довоенного периода и военных лет. История оборонного завода № 550, выпускавшего снаряды для «Катюши», проходит перед глазами посетителей музея. О саровчанах-фронтовиках и трудовых подвигах в тылу рассказывается в



Найдено при раскопках на территории г. Сарова



В деревенской избе, XIX век



Раздел экспозиции «Поселок Саров в годы войны»



Призывники поселка Саров, 1 мая 1943 г.

этом зале. На мемориальной плите музея высечено 327 фамилий погибших на полях сражений.

Представлена история создания «Объекта», организации военно-промышленного комплекса по разработке и изготовлению компонентов ядерного оружия. Материалы о первом директоре генерале П. М. Зернове и научном руководителе академике Ю. Б. Харитоне вы найдете в этом зале, а также и о многом другом, что касается появления и развития нашего города.

В зале почета и славы города — материалы о выдающихся ученых Российского федерального ядерного центра. В 1974 г. было учреждено звание «почетный гражданин города». Первым почетным гражданином стал директор ВНИИЭФ дважды Герой Социалистического труда генерал Б. Г. Музруков. Это звание было присвоено 29 жителям Сарова.

Художественный фонд музея начал формироваться с 1968 г. Он насчитывает более 800 произведений станковой живописи, графики, скульптуры, декоративно-прикладного искусства. Эти произведения периодически экспонируются на

выставках в самом музее, в выставочном зале художественной галереи. В фонде музея — произведения таких известных художников, как Щербakov, Почиталов, Судаков, Лавренко, Куприянов, Абакумов, Руднев, Холуев, Бочкарев, Шихов и др. Важным направлением выставочной деятельности является знакомство горожан с творчеством городского объединения художников, которое насчитывает более 60 человек. Ежегодно устраиваются отчетные выставки объединения, персональные выставки отдельных авторов. В 1998 г. при музее был открыт художественный салон. Его цель — популяризация творчества городских художников и народных промыслов России.

С 1997 г. наш музей является членом Ассоциации естественно-исторических музеев России; летом 1999 г. — стал активным участником Регионального отделения Ассоциации музеев России «Музеи Нижней Оки».

Коллектив работников музея поглощен сейчас новыми интересными задумками. Музей переживает хороший творческий подъем. В по-



Печатная машинка «Олимпия», 1946 г.



В художественном салоне



Народные промыслы



Наши гости



Юные посетители

следнее десятилетие стало возможным раскрытие неизвестных ранее пластов истории, происходит всесторонняя оценка нашего исторического наследия, возрождаются ранее забытые имена и исторические события.

Лицо города — его музей. И наши сотрудники, постоянно помня об этом, стараются сделать

каждое посещение для горожан и многочисленных гостей города, в том числе и зарубежных, предельно интересным и познавательным. И, кажется, нам это удастся. Об этом свидетельствуют записи в книге отзывов, оставляемые посетителями.

«Мы приехали из далекой Сибири и посетив ваш музей, увозим самое хорошее впечатление. Благодарим работников музея, что у нас есть еще такие места, где можно узнать о нашем историческом прошлом и отдохнуть душой. Большое спасибо! Красноярск.»

«Очень интересный и красивый музей! Спасибо! Катрин Фэнту-Гурне. Франция.»

«Интересные, приятные, добрые впечатления о городе и о музее. Профессор Эберхарт. США.»

«Группа туристов из Греции поражена вашим творчеством. Дальнейших успехов!!!»

«СЛАВА МУЗЕЮ! Куликов В.»

«Спасибо за экспозиции. Впервые посетил музей после реставрации с младшим сыном. Сынишке очень понравились отделы «Война», «Городской быт» и «Природа», а мне отдел, посвященный истории Саровского монастыря. Также с огромной любовью сделана экспозиция, посвященная нашему городу и людям, работавшим в городе. Поистине понимаешь, что живешь в городе Великих людей!!! Огромное спасибо за все !»

«Я хочу приходить сюда снова и снова. Паша, 7 лет.»



Научно-популярный журнал для всех, кто интересуется историей создания ядерного оружия, новыми направлениями развития современной физики, наукоемкими технологиями.

Учредитель —
Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт (РФЯЦ-ВНИИЭФ), г. Саров.
Зарегистрирован Госкомитетом РФ по печати за № 12751 от 20.07.94 г.

С содержанием журналов можно ознакомиться на сайте РФЯЦ-ВНИИЭФ www.vniief.ru

Адрес редакции:
607188, г. Саров Нижегородской обл.,
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ОПИНТИ,
заместитель главного редактора
Волкова Нина Анатольевна

Тел. (831-30) 205-25,
факс (831-30) 205-47
e-mail: volkova@vniief.ru

Индекс подписки
в Каталоге Роспечати 72249



