

ОВСЕЙ ИЛЬИЧ ЛЕЙПУНСКИЙ — ЖИЗНЕННЫЙ ПУТЬ И ВКЛАД В ХИМИЧЕСКУЮ И РАДИАЦИОННУЮ ФИЗИКУ



(1909–1990)

Овсей Ильич Лейпунский родился 4 января 1909 г. в г. Белостоке Гродненской губернии (ныне Польша) в многодетной семье десятника дорожного строительства.

После окончания школы Овсей Ильич (ОИ) поступает по приезду в Ленинград в экономический техникум. Однако первая же его практика в бухгалтерии завода «Светлана» показала, что работа бухгалтера и экономиста — не его призвание, и в 1926 г. он поступает на первый курс физико-механического факультета Ленинградского политехнического института (ЛПИ), который окончил в 1930 г. Этот же факультет окончил и его старший брат — Александр Ильич Лейпунский. В том же году ОИ поступил на работу в Институт химической физики Академии наук СССР (ИХФ АН СССР), сотрудником которого он оставался до последних дней жизни.

На фотографии этого выпуска (во главе со знаменитым академиком А. Ф. Иоффе), наряду с ОИ представлены еще четыре будущих заведующих лабораториями ИХФ АН СССР — А. Ф. Беляев, М. Я. Ген, И. Л. Зельманов и Ю. Н. Рябинин.

В личности О. И. Лейпунского удачно сочетались острая наблюдательность, научная интуиция и талант экспериментатора с широким научным кругозором и страстью исследователя, а также высокая принципиальность и гражданское мужество. Все это позволило ему выполнить фундаментальные работы в различных областях химической физики, начиная с самых первых лет научной жизни [5, 8–13].

Довоенный период

В ИХФ Овсей Ильич пережил как счастливые моменты жизни, так и личную драму. В 1938 г. после ареста брата — А. И. Лейпунского, директора Украинского физико-технического института — ОИ отказался выступить с «осуждением его деятельности» и был уволен из ИХФ. К счастью, Александра вскоре освободили и О. И. Лейпунского восстановили в ИХФ.

В период отсутствия основной работы в ИХФ Овсей Ильич занялся изучением причин безуспеш-



Фото выпускников ЛПИ 1930 г. Верхний ряд, первый слева — О. И. Лейпунский; второй ряд, третий слева — Ю. Н. Рябинин; нижний ряд, первый слева — А. Ф. Беляев, четвертый — М. Я. Ген, пятый — И. Л. Зельманов

ных попыток синтеза искусственных алмазов. Он первым в мире (приоритет от 1939 г.) предсказал условия получения искусственных алмазов из графита [11] и сформулировал необходимость трех главных условий:

- (1) температура не менее 1400 К;
- (2) давление не менее 42 500 атм;
- (3) подходящая среда кристаллизации — жидкий металл, в котором растворяется графит, а также присутствие катализаторов.

Начиная с 1950-х гг. и до настоящего времени во всем мире промышленное производство алмазов ведется по технологии, сформулированной Овсеем Ильичем, принося миллиардные прибыли производителям. При этом О. И. Лейпунский получил лишь диплом на открытие. Однако опубликованная в 1930-е гг. статья Овсея Ильича [11], сыграла решающую роль как в утверждении его научного приоритета, так и в защите финансовых интересов нашей страны.

В связи с 60-летием Овсея Ильича ему были посвящены следующие строки:

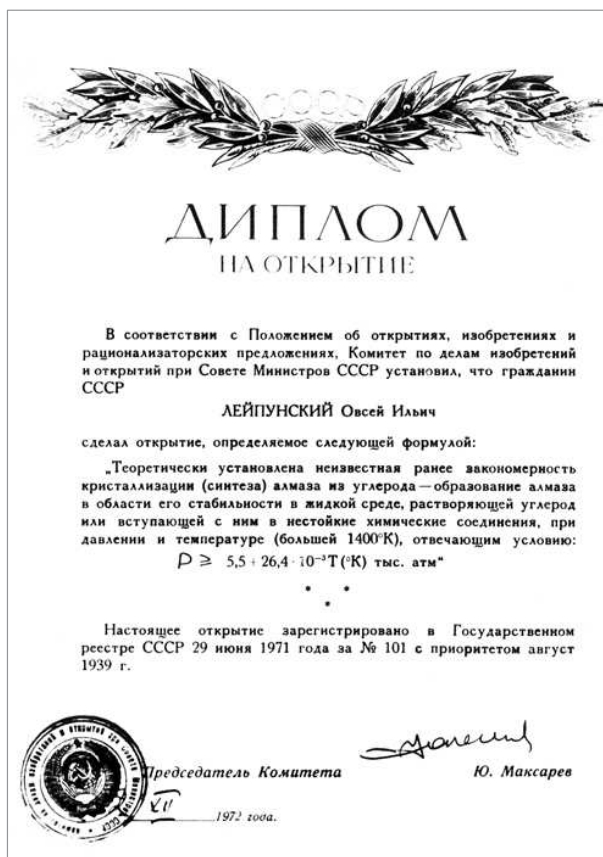
*Там, где пасует грубая сила,
Там тонкость мысли все решила —
— Из дебрей абстрактных р, Т-диаграммы
Родились алмазов первые граммы.*

Военные годы

С началом Великой Отечественной войны О. И. Лейпунский совместно с Я. Б. Зельдовичем занялся исследованием внутренней баллистики реактивных снарядов на твердом топливе. Для этого в ИХФ была создана лаборатория горения под руководством Я. Б. Зельдовича (позднее названная лабораторией физики горения твердых топлив). Исследования проводились сначала в Казани, затем в Москве: первое время на базе НИИ-6, а позднее на нынешней территории ИХФ (ул. Косыгина, 4/1).

В короткий срок были выполнены грандиозные по объему и значению экспериментальные и теоретические исследования, позволившие коренным образом усовершенствовать реактивные снаряды гвардейских минометов «Катюша».

Идейной базой исследований лаборатории стали теоретические и экспериментальные работы Я. Б. Зельдовича и О. И. Лейпунского по физике горения порохов и ракетных топлив. В 1942 г. Я. Б. Зельдович опубликовал основополагающую работу «К теории горения порохов и взрывчатых веществ» (ЖЭТФ, 1942. Т. 12. Вып. 11-12. С. 498–524), а следом — работу «Теория горения пороха и приложение ее к реактивным снарядам» (Отчет ИХФ АН СССР. — М., 1942); обе работы перепечатаны в [7]. Одновременно Овсей Ильич совместно с Г. А. Барским и Б. В. Айвазовым



Диплом № 101 на открытие О.И. Лейпунским условий для синтеза алмаза (с приоритетом 1939 г.)

установили экспериментальные закономерности влияния на скорость горения топлива скорости обдува его поверхности продуктами сгорания. Исследованиями 1942–1944 гг. было дано физическое обоснование причин целого ряда аномальных явлений в реактивном двигателе на твердом топливе (РДТТ): нерасчетному подъему максимального давления при высокой скорости течения продуктов горения в двигателе, падению давления в камере сгорания по мере роста проходного сечения камеры, аномального горения заряда при отрицательных начальных температурах.

В настоящее время учет этих явлений — обязательная часть внутрибаллистических расчетов для РДТТ и ствольных артиллерийских систем.

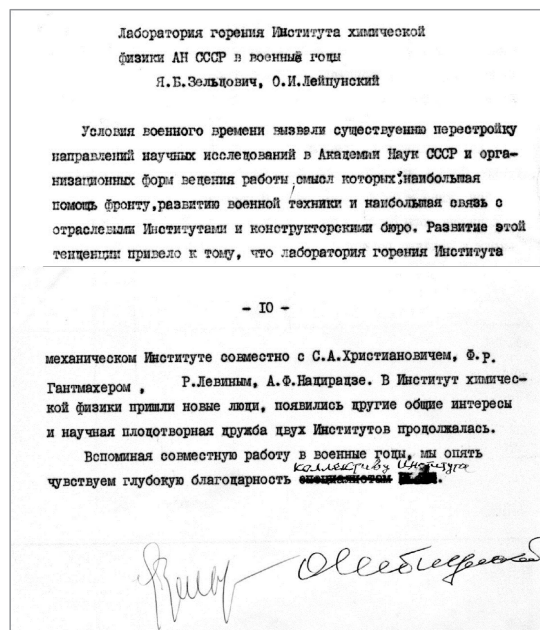
Таким образом, исследованиями О. И. Лейпунского и Я. Б. Зельдовича 1942–1944 гг. были заложены физические основы современной внутренней баллистики пороховых ракет. В 1945 г. О. И. Лейпунский успешно защитил докторскую диссертацию на тему «К вопросу о физических основах внутренней баллистики реактивных снарядов» [1].

В конце 1942 г., после гибели на фронте брата Якова, Овсей Ильич дважды подавал заявле-

ние директору ИХФ с просьбой отпустить его на фронт. Однако оба раза Н. Н. Семёнов отказывал, мотивируя тем, что О. И. Лейпунский — один из незаменимых специалистов по порохам и взрывчатым веществам (ВВ), он ведет работу по тематике Наркомата боеприпасов, необходимую для фронта. Тем не менее, ОИ, как и многих его современников, мучило чувство вины за то, что они оказались среди относительно немногих не воевавших и потому выживших мужчин своего поколения.

Участие в Атомном проекте и Пагуошском движении

В 1947 г. О. И. Лейпунский был привлечен к работам по созданию атомного оружия. В Советском Атомном проекте ОИ возглавил разработку приборов и методов контроля ионизирующей радиации, возникающей при взрывах атомных и термоядерных зарядов. Его лаборатория в ИХФ разработала комплекс методов измерения радиационных полей, создаваемых нейтронами, альфа- и бета-частицами, а также гамма-квантами, научилась оценивать радиационно-биологические последствия взрывов атомных и водородных бомб на десятки и сотни лет вперед. В ходе этих работ ОИ исследовал физические явления при ядерных взрывах, связанных с действием проникающего излучения: формирование дозы поражающего действия излучения и спо-



Фрагмент статьи Я. Б. Зельдовича и О. И. Лейпунского о лаборатории горения ИХФ и сотрудничестве с НИИ-6 в военные годы

ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БОЕПРИПАСОВ

УДК 93/99

О сотрудничестве ИХФ АН СССР и НИИ-6 НКБ СССР в годы Великой Отечественной войны

Я.Б. ЗЕЛЬДОВИЧ, О.И. ЛЕЙПУНСКИЙ

Условия военного времени вызвали необходимость существенной перестройки направлений научных исследований в Академии наук СССР и организационных форм ведения работы, смысл которой заключался в оказании наибольшей помощи фронту, в развитии военной техники и укреплении связи с отраслевыми институтами и конструкторскими бюро. Эта перестройка привела к тому, что специалисты Института химической физики АН СССР и его лаборатории горения установили контакт и вели совместные работы с коллегами из НИИ-6 НКБ СССР и даже

Русская и советская пороховая наука и артиллерия всегда занимали передовые позиции в мире. Исследования в этой области привлекали внимание многих выдающихся ученых, в том числе и Д.И. Менделеева. Внутренняя баллистика артиллерийских снарядов, включая законы горения пороха, была прекрасно исследована и соответствовала всем требованиям практики. Создание РС стало проявлением прогрессивного значения русской и советской артиллерийской науки; два решающих изобретения в реактивной артиллерии были сделаны в нашей

Статья перепечатана в журнале «Боеприпасы», 2007, № 1.

Фрагмент статьи Я. Б. Зельдовича и О. И. Лейпунского о лаборатории горения ИХФ и сотрудничестве с НИИ-6 в военные годы

события защиты от него, электромагнитные явления при ядерных взрывах, глобальные последствия радиоактивного загрязнения Земли продуктами ядерных взрывов.

В 1948 г. в период подготовки к испытанию первой советской атомной бомбы ИХФ становится основной базой обучения кадрового состава из числа военнослужащих для участия в проведении физических измерений на полигоне. Подбором и обучением этих специалистов руководят директор ИХФ Н. Н. Семёнов и его заместитель М. А. Садовский. Лекции читают О. И. Лейпунский, А. С. Компанец, П. А. Ямпольский и И. Л. Зельманов.



Овсей Ильич Лейпунский и Михаил Александрович Садовский (1984 г.)

Девятого августа 1949 г. первая советская атомная бомба была успешно взорвана на Семипалатинском полигоне. Во время испытания О. И. Лейпунский находился в укрытии, в нескольких километрах от эпицентра взрыва, а после взрыва был в числе первых исследователей воронки.

Двадцать девятого октября 1949 г. вышли закрытые Указ Верховного Совета и Постановление Совета Министров СССР «О награждении и премировании за выдающиеся научные открытия и технические достижения по использованию атомной энергии». За участие в разработке новейших приборов и методики измерений атомного взрыва О. И. Лейпунский был награжден орденом Ленина и стал лауреатом Сталинской премии 2-й степени.

В течение многих лет ОИ сам готовил регистрирующую аппаратуру, лично присутствовал при ядерных испытаниях, а после взрывов занимался расшифровкой тысяч осциллограмм. За работы по созданию аппаратуры для испытания изделий РДС-6с, РДС-4 и РДС-5 и проведение измерений во время испытаний на Семипалатинском полигоне № 2 Постановлением Совета Министров СССР от 31 декабря 1953 г. О. И. Лейпунский был удостоен второй Сталинской премии 2-й степени.

Одним из первых ОИ проанализировал глобальные последствия от ядерных взрывов и способствовал созданию современных представлений о губительности для жизни на Земле крупномас-



Двадцатилетие НИИ-6, 1967 г. В первом ряду слева направо: О. Л. Орлова, П. Ф. Похил, И. И. Вернидуб, Я. Б. Зельдович, О. И. Лейпунский, Г. К. Клименко, Б. П. Жуков, справа налево: Б. А. Райзберг, М. Е. Серебряков

штабного использования ядерного оружия. Овсей Ильич Лейпунский стал экспертом международного класса в вопросах обнаружения ядерных взрывов и радиоактивного загрязнения. Его работы внесли значительный вклад в разработку научных предпосылок для Договора о запрещении испытаний ядерного оружия. Исследования О. И. Лейпунского показали, что необходимо в десятки раз снизить предельно допустимые дозы радиоактивных облучений. Статистическая оценка роста числа генетических заболеваний и лейкозов для населения Земли в результате открытых испытаний ядерных взрывов подтверждала, что мир шел к глобальной катастрофе.

Овсей Ильич непосредственно участвовал в работе Женевских совещаний международных экспертов по подготовке договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере (в 1958–1959 гг.), в работе Научного комитета ООН по действию радиации (в 1960–1962 гг.) и конференциях Пагуошского движения. Расчеты и оценки, выполненные ОИ, способствовали заключению в 1963 г. Международного соглашения о прекращении всех ядерных испытаний в открытых средах.

В период с 1958 по 1979 гг. Овсей Ильич сочетал работу в ИХФ АН СССР с работой в Московском инженерно-физическом институте (МИФИ). С 1958 по 1960 гг. профессор О. И. Лейпунский заведовал там кафедрой, а в 1960 г. создал при кафедре проблемную лабораторию, которой руководил в течение нескольких лет. Этот период деятельности О. И. Лейпунского ознаменовался расшире-

нием его научных интересов. Дальнейшее развитие в его работах получила проблема радиоактивных выпадений от ядерных взрывов, в частности ^{137}Cs . В МИФИ была создана радиохимическая лаборатория для проведения спектрометрических измерений радионуклидов в пробах окружающей среды. В то же время О. И. Лейпунский поставил задачу измерения содержания в атмосфере криптона и ксенона, решение которой дало важную информацию о связи их содержания в атмосфере с мощностью мировой ядерной промышленности и энергетики.

Овсей Ильич первым обратил внимание на актуальность дозиметрии нейтронов промежуточной энергии, он же развил концепцию «тонкого луча» при расчете радиационного поля. В 1958 г. ОИ организовал на кафедре общемосковский научный семинар по дозиметрии, действующий и в настоящее время. Овсей Ильич Лейпунский справедливо считается создателем в МИФИ научной школы по дозиметрии и защите.

«Вторая молодость» внутрибаллистических исследований

В конце 1958 г. работы в ИХФ по изучению проникающей радиации и дозиметрии атомного взрыва были прекращены, и Николай Николаевич Семёнов предложил Овсею Ильичу возродить лабораторию горения Я. Б. Зельдовича. Лейпунский



Сотрудники лаборатории В. А. Шабашов, В. Б. Либрович и В. Н. Маршаков поздравляют О. И. Лейпунского с 75-летием

согласился, и в Отделе горения конденсированных систем (ГКС) (заведующий отделом П. Ф. Похил) была образована лаборатория «Физики горения твердых топлив».

Целями исследований лаборатории, в первую очередь, было развитие идей, базирующихся на результатах работ, выполненных О. И. Лейпунским и Я. Б. Зельдовичем в годы войны по механизму горения твердых ракетных топлив (ТРТ) и внутренней баллистике твердотопливных ракет.

В первые же годы по возвращению в ИХФ были выполнены (совместно с З. И. Аристовой) фундаментальные работы по измерению теплосодержания в волне горения при зажигании и стационарном горении твердого топлива [1, 5, 6, 8–16]. Научная значимость полученных экспериментальных данных состояла, прежде всего, в подтверждении гипотезы о существовании прогретого слоя, толщина которого убывает с увеличением скорости горения. Согласно феноменологической теории нестационарного горения, предложенной Я. Б. Зельдовичем, именно тепловая инерционность прогретого слоя определяет все эффекты нестационарного горения, вызванные быстрым изменением давления в камере сгорания [1], в том числе погасание пороха при быстром спаде давления [1, 14].

Эксперименты О. И. Лейпунского и З. И. Аристовой [7, 15, 16] впервые показали, что минимальный прогретый слой при воспламенении топлива близок по своим характеристикам к прогретому

слою при стационарном горении топлива при том же давлении. Вместе с тем было показано, что прогретый слой при воспламенении может во много раз превосходить прогретый слой при стационарном горении [15, 16]. Фундаментальное значение этого результата было оценено много лет позднее при анализе эффектов нестационарного горения после зажигания топлива [36–39], что особенно важно для внутренней баллистики артиллерийских орудий.

В последующие годы экспериментальные и теоретические исследования лаборатории О. И. Лейпунского получили поддержку и развитие с привлечением молодых специалистов, окончивших МФТИ, МИФИ и МГУ. В их числе были: Анатолий Афанасьевич Зенин, ставший впоследствии признанным классиком микротермопарных измерений тепловой структуры волн горения порохов и ТРТ; Валерий Иванович Смирнов, возглавивший группу по разработке и созданию уникальных приборов для измерения физико-химических характеристик ракетных топлив, волн химического превращения и продуктов горения; Анатолий Григорьевич Истратов и Вадим Брониславович Либрович, возглавившие впоследствии теоретические исследования механизма зажигания и нестационарного распространения волн горения в различных средах; Владимир Иосифович Колесников-Свинарев, создатель многих уникальных установок для изучения горения металлов и металлизированных энергоем-

ких материалов; Владимир Николаевич Маршаков, возглавивший группу экспериментального исследования воспламенения и эффектов нестационарного горения порохов и ракетных топлив; Виктор Михайлович Шабашов и др. Образовался сильный коллектив, способный решать сложные теоретические и экспериментальные задачи.

Скорость нестационарного горения твердого топлива, предсказанная Я. Б. Зельдовичем, впервые получила прямое экспериментальное подтверждение в классической работе О. И. Лейпунского, В. И. Колесникова-Свинарева и В. Н. Маршакова [19] по регистрации нестационарного горения топлива в камере ракетного двигателя при быстром подъеме давления. Владимир Николаевич Маршаков стал также известен своими всесторонними исследованиями эффекта погасания твердого топлива при спаде давления, важного для управления горением в ракетных двигателях на твердом топливе. Многие исследования В. Н. Маршакова эффекта пригасания топлива и его повторного самовоспламенения были выполнены совместно с сотрудниками его группы: Вячеславом Ивановичем Земских и Георгием Владимировичем Мелик-Гайказовым.

Необходимо отметить, что особенностью стиля работы лаборатории О. И. Лейпунского всегда было единение теории и эксперимента: теоретические работы способствовали отчетливой постановке экспериментальных задач и всестороннему анализу результатов, а эксперименты, в свою очередь, способствовали конкретности и физической осмысленности теоретических работ.

В 1967 г. по инициативе О. И. Лейпунского, активно поддержанной Я. Б. Зельдовичем, в лаборатории была создана сильная теоретическая группа, в состав которой первоначально входили Вадим

Брониславович Либрович и Анатолий Григорьевич Истратов, а годом позднее — Игорь Георгиевич Ас-совский и Виктор Михайлович Гремячкин.

Круг экспериментальных и теоретических исследований лаборатории О. И. Лейпунского в ИХФ был необычайно широк: от механизма нестационарного распространения волны горения и эффекта «раздувания», катализа процессов горения, определения пределов устойчивого горения, механизма «аномального» горения артиллерийских порохов и ракетных топлив и механизма горения частиц энергоемких металлов до вопросов управления горением в РДТТ и ряда других фундаментальных и прикладных задач.

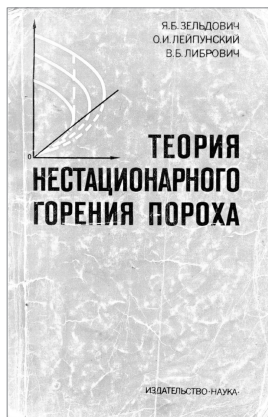
Пределы устойчивого горения в реактивных двигателях на твердом топливе. Инварианта Лейпунского

Многие из перечисленных выше проблем сохраняют свою актуальность и в настоящее время. Одной из них является так называемая низкочастотная неустойчивость горения в РДТТ, которая может сопровождаться колебаниями давления большой амплитуды в камере сгорания, пригасанием и повторным самовоспламенением топлива в двигателе (так называемом «чиханием» двигателя).

Первые работы по изучению условий возникновения аномального горения в удлиненных РДТТ были выполнены выдающимся советским инженером-исследователем Ю. А. Победоносцевым, который впервые выявил роль в неустойчивости горения скорости движения продуктов горения в камере РДТТ. Эта скорость зависит от отношения площади поверхности горения S к площади проходного сечения камеры s . Критерий $Ro = S/s$ по предложению авторов [6] был назван критерием Победоносцева. Согласно Ю. А. Победоносцеву, для устойчивости горения заряда в РДТТ необходимо, чтобы отношение S/s не превышало определенного критического значения, при котором, как он считал, происходит «сдувание» пламени с поверхности горящего топлива. Критерий Победоносцева является феноменологическим пределом устойчивого горения в РДТТ, однако физическое обоснование его требовало экспериментальной проверки реальности «сдувания пламени», которую ОИ начал в 1942–1944 гг. К тому времени Я. Б. Зельдович предложил теорию нестационарного горения ТРТ [6, 7], согласно которой неустойчивость в РДТТ возникает, когда характерное время инерционности волны горения τ



Овсей Ильич Лейпунский с коллегами отдела ГКС ИХФ (В. Н. Маршаков, Г. Б. Манелис, В. К. Боболев), 1984 г.



Книги, содержащие фундаментальные результаты О. И. Лейпунского в области химической физики горения энергоемких материалов

становится соизмеримым с характерным временем истечения продуктов горения из камеры сгорания двигателя τ_c . Для устойчивого горения в двигателе его так называемая «аппаратурная константа», $\chi = \tau_c / \tau$, должна быть больше некоторого критического значения χ^* , зависящего от коэффициента k температурной чувствительности скорости горения топлива U :

$$k = (T_s - T_0) \frac{\partial \ln U}{\partial T_0},$$

где T_s и T_0 — температура поверхности и начальная температура топлива, а также от других характеристик горения заряда топлива, каких именно — предстояло еще выяснить.

Следует отметить, что зависимость предела устойчивого горения в РДТТ от температурной чувствительности скорости горения топлива явилась неожиданным результатом, полученным с помощью относительно простой теории Я. Б. Зельдовича. Из теории также следовало, что область устойчивого горения при постоянном давлении определяется условием $k \leq 1$.

Экспериментальная проверка указанных теоретических выводов имела принципиальное значение для обеспечения устойчивости горения в РДТТ и дальнейшего развития ракетной техники. Эти исследования, начатые ОИ с сотрудниками еще в военные годы, в 1960-е и последующие годы были возобновлены его лабораторией на новом экспериментальном и теоретическом уровне. В этой связи необходимо отметить многочисленные теоретические исследования других авторов с целью выявления роли в аномальных явлениях температурной зависимости характеристик горения ТРТ (Новожилов // ФГВ, 1967; Гостинцев, Суханов // ФГВ, 1974), а также роли геометрии заряда и изменения температуры продуктов его горения, Махе-эффекта (Ассовский, Рашковский // ФГВ, 1998).



О. И. Лейпунский и Я. Б. Зельдович, 1980 г.

Из общих физических представлений следует, что горение топлива при больших значениях χ аналогично горению при постоянном давлении, поэтому граница области устойчивого горения топлива $\chi^*(k)$ при больших χ должна приближаться к асимптоте $k = k^*$, соответствующей пределу устойчивого горения при постоянном давлении. Таким образом, экспериментальные данные о пределах устойчивого горения при постоянном давлении дают также важную информацию о пределе горения в РДТТ при значениях $\chi \gg 1$.

Прежде всего, отметим, что экспериментальные исследования ОИ влияния скорости обтекания продуктами горения поверхности горящего топлива [1, 7] не подтвердили гипотезу о возможном сдувании пламени и пригасании топлива. Более того, они обнаружили ускорение горения топлива при обдуве. Открытый эффект Лейпунский назвал «раздуванием».

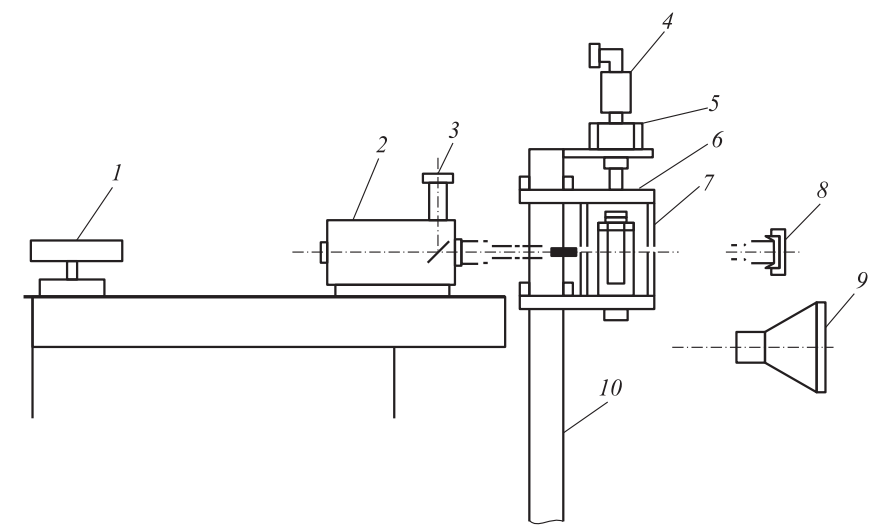
Вывод теории Зельдовича о пределе устойчивого горения при постоянном давлении ($k^* = 1$) подвергся экспериментальной проверке для баллистического топлива в широком интервале начальных температур: от -183 до $+160$ °С, при атмосферном давлении [18]. Было впервые установлено, что горение баллистического топлива характеризуется значениями $k < 3,0$, что превышает критерий Зельдовича. Однако горение жидких ВВ (нитроглицерин, метилнитрат) соответствовало критерию Зельдовича $k < 1$. Принимая во внимание ряд упрощенных предположений теории Зельдовича, такое соотношение ее выводов с экспериментом, скорее, свидетельствует о могуществе простой, но

физически обоснованной теории, что характерно для научной школы Н. Н. Семёнова.

Экспериментальное изучение критических условий горения в РДТТ в широком интервале изменения начальной температуры и других параметров представляет собой крайне сложную научно-техническую задачу, поэтому для ее решения большую пользу приносят теоретические исследования, в том числе компьютерное моделирование. Существующие теоретические модели показывают, что выход границы устойчивости на вертикальную асимптоту (соответствующую горению при постоянном давлении) происходит уже при $\chi = 2$. Таким образом, для устойчивого горения в РДТТ достаточно выполнения двух условий: $\chi \geq 2$ и $k \leq 2$. Удивительным является то обстоятельство, что эти условия являются своеобразной инвариантой по отношению к большому числу разнообразных моделей горения в РДТТ, в том числе учитывающих изменение распределения температуры в продуктах горения по длине камеры двигателя (И. Г. Ас-совский, С. М. Рашковский, ФГВ, 1998). Было бы справедливым назвать эту инварианту именами Зельдовича и Лейпунского.

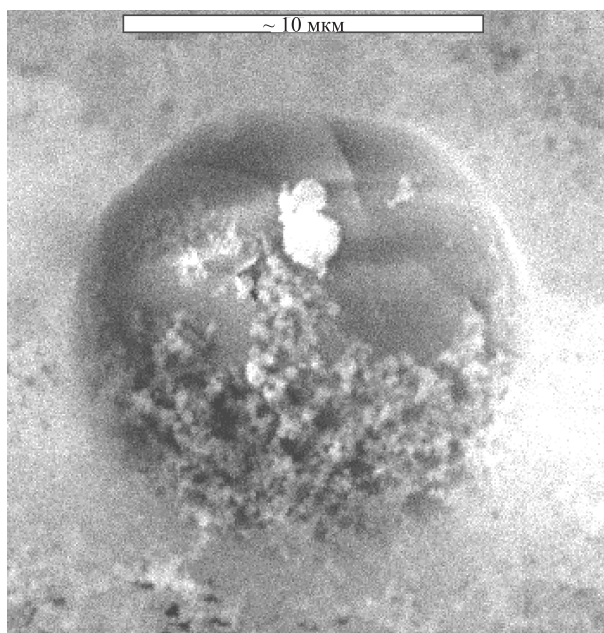
Горение металлов и проблема «двухфазных потерь» в реактивных двигателях на твердом топливе

Особое место в исследованиях лаборатории О. И. Лейпунского занимали работы по повыше-



Установка с падающей камерой сгорания: 1 — юстировочный лазер; 2 — рубиновый лазер; 3 — фотометр; 4 — пусковой электромагнит; 5 — замок; 6 — падающая платформа; 7 — камера сгорания; 8 — рефлектор; 9 — фотокамера; 10 — направляющий рельс

нию эффективности преобразования энергии ракетного топлива в кинетическую энергию истекающей из сопла двигателя струи продуктов горения. Известно, что такое преобразование сопровождается так называемыми «двухфазными потерями», вызванными присутствием в газообразных продуктах горения конденсированных частиц окиси металла (обычно алюминия), порошок которого содержится в больших количествах в составах современных ТРТ. Для снижения двухфазных потерь необходимо было понять механизм горения металлических частиц и закономерности образования конденсированной фазы в продуктах горения. В 1970-е гг. теория горения частиц алюминия практически отсутствовала, предполагалось что металлические частицы горят, как капли углеводородного топлива. Лейпунский совместно с А. Г. Истратовым и В. М. Гремячкиным предложили иную модель горения алюминия, которая впервые учитывала существование оксида Al_2O_3 только в конденсированной фазе [24–27]. Специально для проверки выводов сформулированной теории горения частиц алюминия О. И. Лейпунский совместно с В. И. Колесниковым-Свинаревым и Г. П. Кузнецовым разработали и создали уникальную лабораторную установку с падающей камерой сгорания и специальной лазерной системой зажигания, что впервые позволило изучать воспламенение и горение свободной одиночной частицы в условиях, обеспечивающих сферически симметричный тепломассообмен горящей частицы, предполагаемый в теории [37].



Крупная и мелкая фракции продуктов горения частицы алюминия в двуокиси углерода (давление 20 атм)



Нитевидные кластеры наноразмерных частиц окиси алюминия в мелкой фракции продукта горения частицы алюминия в двуокиси углерода (давление 20 атм)

Следует отметить, что похожие установки, но значительно большего размера, стали появляться во многих развитых странах, однако со временем из-за высокой стоимости эксплуатации они были закрыты, как, например, 800-метровая шахтная установка в Японии, а лабораторная установка, созданная в лаборатории О. И. Лейпунского, активно используется и в настоящее время.

Результаты экспериментов подтвердили принципиальные положения оригинальной теории горения частиц алюминия, в их числе широкие зоны химической реакции вокруг горящей частицы, а также гетерогенное окисление на поверхности жидкой капли алюминия. Вместе с тем, эксперименты дали много нового материала для дальнейшего совершенствования представлений о механизме горения металлов.

Необходимо отметить, что в настоящее время эта уникальная установка с успехом используется для изучения механизма формирования наночастиц конденсированной фазы в продуктах горения металлов в различных газовых средах.

Разносторонняя эрудиция О. И. Лейпунского способствовала стремлению сотрудников расширять тематику исследований лаборатории. В разные годы ОИ с сотрудниками лаборатории исследовали механизм и закономерности распространения горящих трещин в твердом топливе, вопросы структуры и устойчивости газовых пламен, также были созданы приборы для изучения кинетики отверждения энергоемких композиций, исследовалась структура волн химических реакций в технологиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

С середины 1970-х и до конца 1980-х гг. важное место в тематике лаборатории заняли вопросы воспламенения и горения энергоемких систем при

артиллерийских давлениях (порядка 10 кбар). Эти исследования были направлены, прежде всего, на решение проблем внутренней баллистики артиллерийских орудий, но также представляли интерес и для получения новых материалов. В этом отношении такие работы были своеобразным продолжением ранних исследований ОИ по условиям синтеза алмаза.

Сотрудничество с другими лабораториями Института химической физики

При решении большинства научно-технических проблем ОИ и его лаборатория тесно сотрудничали с другими лабораториями ИХФ, например с лабораториями А. Ф. Беяева, В. К. Боболева, М. Я. Гена, П. Ф. Похила, С. М. Когарко. В этой связи отметим, что после кончины профессора А. Ф. Беяева в 1967 г. Н. Н. Семёнов поручил О. И. Лейпунскому временно исполнять обязанности заведующего лабораторией взрывных процессов, состоящей в то время из трех групп: Николая Николаевича Бахмана, Александра Ивановича Короткова и Алексея Александровича Сулимова. Благодаря поддержке О. И. Лейпунского, удалось сохранить и развить сложившиеся в лаборатории А. Ф. Беяева научные направления.

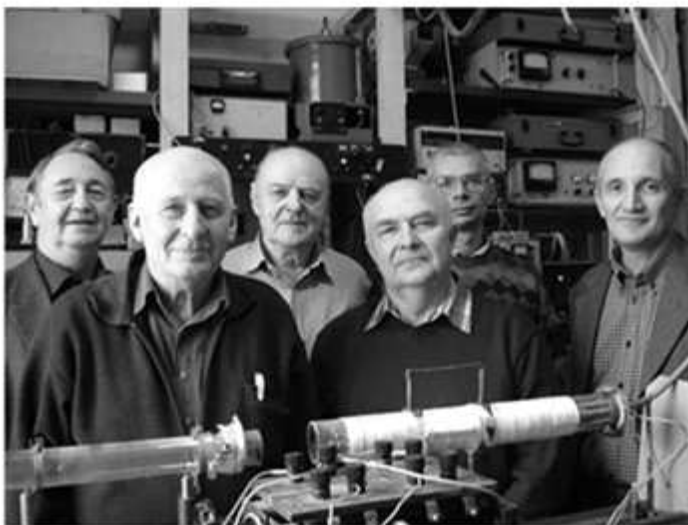
Важную роль в этом сыграли регулярно проводимые под председательством ОИ семинары по горению и детонации. Впоследствии ОИ часто



Овсей Ильич Лейпунский и Василий Константинович Боболев на конференции в Одессе

вспоминал, что его поражала целеустремленность и творческая активность молодых сотрудников лаборатории Александра Федоровича (А. А. Сулимова, Б. С. Ермолаева, Ю. В. Фролова, Н. Н. Бахмана, М. К. Сукояна и др.).

Необходимо также отметить, что в течение ряда лет в лаборатории Лейпунского существовала и плодотворно работала небольшая биофизическая



Научные сотрудники лаборатории физики горения твердых топлив, (2011 г.). Слева направо: Владимир Николаевич Маршаков, Анатолий Григорьевич Истратов, Владимир Иосифович Колесников-Свинарев, Геннадий Петрович Кузнецов, Георгий Владимирович Мелик-Гайказов, Игорь Георгиевич Ассовский



группа в составе Всеволода Николаевича Сахарова, Ларисы Николаевны Воронковой и Владимира Александровича Рогачкова, занимавшаяся уникальными экспериментальными исследованиями механизма влияния ультрафиолетового микроруча на функционирование ядра живой клетки. Эти исследования были связаны с интересом ОИ к проблемам воздействия радиации на живые организмы. Результаты этих исследований получили широкую международную известность.

В заключение отметим, что О. И. Лейпунский отличался активной гражданской позицией, часто выступал с научно-популярными докладами, публиковал статьи в журналах «Знание-сила» и «Успехи химии». Главным для него было беззаветное, бескорыстное служение науке — служение «Делу». Стремление узнавать новое, постоянно думать над решаемыми научными проблемами, делиться найденным с коллегами, не жалеть ни сил, ни здоровья, ни времени, отдавать всего себя «Делу», внедрять в практику все, что может принести пользу обществу — эти черты были присущи Овсею Ильичу, как и лучшим представителям его поколения.

Овсей Ильич никогда не жалел времени для общения с сотрудниками своей лаборатории, особенно с начинающими. Мы часто вспоминаем его житейские наставления-заповеди, актуальность которых не зависит от времени:

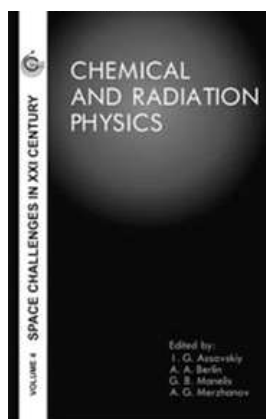
- Не судите «сгоряча» о поступках людей.
- Для устойчивости жизни грузите «свой косяк» работой.
- Чем больше металла в решениях — тем меньше компетентности.

Наряду с научными исследованиями ОИ увлекался поэзией и сам писал талантливые стихи. Другое его увлечение — альпинизм. Почти каждое лето в предвоенные годы, а затем и после войны он проводил в альплагерях на Кавказе в качестве инструктора альпинизма. Любил занятия беговыми лыжами, его часто можно было видеть в выходные дни на лыжне Воробьевых гор.

Отметим один интересный факт. В течение нескольких лет в 1970-е гг. ОИ участвовал в спортивных соревнованиях по лыжному спорту, защищая честь родного отдела — ГКС. Соревнования проводились после работы в рамках спартакиады между отделами ИХФ АН СССР по нескольким (в том числе лыжному) видам спорта. Лыжня проходила вдоль Москва-реки под зданиями ИХФ. ОИ появлялся на старте в положенное время — в 6 часов вечера и обязательно проходил при свете фонарей свою 3-километровую дистанцию до конца (а ведь ему было за 60 лет, и он был единственным участником такого возраста). Количество зачетных очков, получаемых участником, резко возрастало с его возрастом. В результате ОИ приносил своему отделу и лаборатории больше очков, чем молодой победитель этих соревнований.

Помимо двух Сталинских премий О. И. Лейпунскому присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР» (1976 г.), он награжден также орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, двумя орденами Знак Почета, медалями и Почетной грамотой Советского комитета защиты мира.

Профессор Овсей Ильич Лейпунский скончался в 1990 г. после тяжелой продолжительной болезни. Похоронен в Москве на Востряковском кладбище.



Столетию О. И. Лейпунского была посвящена Международная научная конференция, состоявшаяся в 2009 г. в Москве в Президиуме РАН, по материалам которой опубликован сборник статей «Химическая и радиационная физика» [38].

Авторы выражают благодарность за помощь в подготовке статьи сотруднику Росатома А. А. Кузнецову, ответственному за электронную библиотеку «История Росатома» К. В. Вигурскому, а также сыну Овсея Ильича И. О. Лейпунскому.

Избранные публикации О. И. Лейпунского

Монографии, диссертация

1. Лейпунский О. И. К вопросу о физических основах внутренней баллистики реактивных снарядов: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — М.: ИХФ АН СССР, 1945. 245 с. (Частично перепечатано в сб. Теория горения порохов и взрывчатых веществ. — М.: Наука, 1982, С. 226–277.)
2. Лейпунский О. И. Гамма-излучение атомного взрыва. — М.: Атомиздат, 1959. 155 с.
3. Лейпунский О. И., Новожилов Б. В., Сахаров В. Н. Распространение гамма-квантов в веществе. — М.: Физматиздат, 1960. 208 с.
4. Лейпунский О. И., Золотухин В., Климанов В., Машкович В., Сахаров В., Синицын Б., Цыпин С. Прохождение излучения через неоднородности в защите. — М.: Атомиздат, 1968. 335 с.
5. Лейпунский О. И., Золотухин В. Г., Кимель Л. Р., Ксенофонтов А. И., Панченко А. М. Поле излучения точечного мононаправленного источника гамма-квантов. — М.: Атомиздат, 1974. 160 с.
6. Зельдович Я. Б., Лейпунский О. И., Либрович В. Б. Теория нестационарного горения пороха. — М.: Наука, 1975. 132 с.

7. Теория горения порохов и взрывчатых веществ. Сборник статей / Отв. ред. О. И. Лейпунский, Ю. В. Фролов. — М.: Наука, 1982. 335 с.

Первые статьи

8. Лейпунский О. И., Рогинский С. З. Об активированной адсорбции и ее роли в катализе // Z. Phys. Chem., 1932. No. 1. P. 593–594.
9. Лейпунский О. И. О стерическом факторе в уравнении скорости активированной адсорбции // Докл. АН СССР, 1935. Т. 1. С. 30.
10. Лейпунский О. И. Ван дер Ваальсовая активированная и атомная адсорбция водорода на меди и никеле и фотоэффект // Акта физ.-химика, 1935. № 6. С. 737–760.
11. Лейпунский О. И. Об искусственных алмазах // Успехи химии, 1939. Т. VII. Вып. 10. С. 1519–1534.
12. Зельдович Я. Б., Лейпунский О. И. Изучение химических реакций в ударной волне. Теория метода и результаты предварительных опытов // Acta Phys. Chem., 1943. Т. 18. С. 167–171.
13. Зельдович Я. Б., Лейпунский О. И. О распространении ударных волн в воде // Ж. эксп. теор. физ., 1943. Т. 13. № 5. С. 183.
14. Зельдович Я. Б., Лейпунский О. И. Получение рекордных температур // Ж. эксп. теор. физ., 1943. Т. 13. С. 181.

Статьи о горении и взрыве

15. Аристова З. И., Лейпунский О. И. О прогреве поверхности горящего пороха // Докл. АН СССР, 1946. Т. 54. С. 507; ЖФХ, 1946. Т. XX. С. 1391. (Перепечатано в сб. Теория горения порохов и взрывчатых веществ / Отв. ред. О. И. Лейпунский, Ю. В. Фролов. — М.: Наука, 1982. С. 301.)
16. Аристова З. И., Лейпунский О. И. О прогреве пороха перед воспламенением // Физика взрыва, 1953. Вып. 2. С. 225–229.
17. Коротков А. И., Лейпунский О. И. О горении нитрогликоля при высоких давлениях и переходе горения в детонацию. — М., 1948. Отчет ИХФ АН СССР. (Перепечатано в сб. Теория горения порохов и взрывчатых веществ. — М.: Наука, 1982. С. 315.)
18. Коротков А. И., Лейпунский О. И. Зависимость температурного коэффициента скорости горения пороха при атмосферном давлении от температуры пороха // Физика взрыва, 1953. Вып. 2. С. 213–224.
19. Лейпунский О. И., Колесников-Свинарев В. И., Маршаков В. Н. Нестационарная скорость горения пороха // Докл. АН СССР, 1964. Т. 154. № 4. С. 907–909.
20. Истратова З. В., Лейпунский О. И. О влиянии вибрационной догрузки на долговечность в условиях одномерного растяжения // ЖПМТФ, 1966. № 2. С. 89–90.
21. Маршаков В. Н., Лейпунский О. И. Горение и потухание пороха при быстром спаде давления // Физика горения и взрыва, 1967. Т. 3. № 2. С. 231–235.
22. Маршаков В. Н., Лейпунский О. И. К вопросу о механизме горения пороха при спаде давления // Физика горения и взрыва, 1969. Т. 5. №1. С. 3–7.

23. Земских В. И., Истратов А. Г., Лейпунский О. И., Маршаков В. Н. Три характерных режима горения баллистических порохов при спаде давления // Физика горения и взрыва, 1977. Т. 13. № 1. С. 14–19.
24. Гремячкин В. М., Истратов А. Г., Лейпунский О. И. Об образовании конденсированных частиц окиси при горении капель металлов // ПМТФ, 1974. Т. 4. С. 70–78.
25. Гремячкин В. М., Истратов А. Г., Лейпунский О. И. Модель горения мелких капель металлов // Физика горения и взрыва, 1975. Т. 11. № 3. С. 366–373.
26. Гремячкин В. М., Истратов А. Г., Лейпунский О. И. К теории горения мелких капель металла // ПМТФ, 1976. Т. 2. С. 47–63.
27. Гремячкин В. М., Истратов А. Г., Лейпунский О. И. К теории горения металлических частиц // Физические процессы при горении и взрыве. — М.: Атомиздат, 1980. С. 4–68.
28. Ассовский И. Г., Истратов А. Г., Лейпунский О. И. О необходимых и достаточных условиях погасания пороха при спаде давления // Физика горения и взрыва, 1977. Т. 13. № 2. С. 200–205.
29. Ассовский И. Г., Истратов А. Г., Лейпунский О. И. О самовоспламенении конденсированного топлива // Докл. АН СССР 1978. Т. 239. № 3. С. 625–628.
30. Лейпунский О. И., Ген М. Я., Колесников-Свинарев В. И., Кузнецов Г. П., Овчинников Н. М. Предельное уменьшение размера частиц окиси алюминия при горении СТРТ (ультрадисперсные компоненты, катализируемая большая скорость, гидрид алюминия). — М., 1979. Отчет ИХФ АН СССР.
31. Лейпунский О. И., Ген М. Я., Колесников-Свинарев В. И., Кузнецов Г. П., Истратов А. Г., Стоенко Н. М. Горение в воздухе частиц сплава алюминия. — М., 1979. Отчет ИХФ АН СССР.
32. Ассовский И. Г., Лейпунский О. И. К теории зажигания топлива световым импульсом // Физика горения и взрыва, 1980. Т. 16. № 1. С. 3–10.
33. Ассовский И. Г., Лейпунский О. И. К расчету нестационарной скорости горения пороха при быстром подъеме давления // Докл. АН СССР, 1981. Т. 258. № 6. С. 1386–1390.
34. Ассовский И. Г., Клейменов Е. П., Лейпунский О. И., Пучков В. М. Теплопередача в газовой и конденсированной фазах топлива при погасании // Физика горения и взрыва, 1981. № 2. С. 96–101.
35. Лейпунский О. И., Ассовский И. Г., Маршаков В. Н., Пучков В. М., Ананьев А. В. О явлении задержанного перехода волны горения через поверхность контакта двух топлив // Докл. АН СССР, 1983. Т. 273. № 4. С. 917–920.
36. Ассовский И. Г., Закиров З. Г., Лейпунский О. И. О влиянии условий зажигания на горение пороха // Физика горения и взрыва, 1983. Т. 19. № 1. С. 41.
37. Колесников-Свинарев В. И., Кузнецов Г. П., Лейпунский О. И. Методика многопараметрического исследования процесса горения частиц металла в свободнопадающей камере // Физика горения и взрыва, 1983. Т. 19. № 4. С. 32–36.
38. Ассовский И. Г., Закиров З. Г., Лейпунский О. И. Эффекты нестационарного горения при зажигании топлива // Хим. физика, 1985. Т. 4. № 10. С. 1417–1422.
39. Ассовский И. Г., Закиров З. Г., Лейпунский О. И. О зажигании и горении топлива в потоке излучающего газа // Физика горения и взрыва, 1986. Т. 22. № 6. С. 20–26.
40. Истратов А. Г., Колесников-Свинарев В. И., Кузнецов Г. П., Лейпунский О. И. Горение одиночной частицы алюминия в состоянии невесомости // Гидромеханика и теплообмен в невесомости. — Новосибирск: Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО АН СССР, 1988. С. 123–131.

Публикации об О. И. Лейпунском

41. Дубовицкий Ф. И. Лаборатория физики горения (зав. лаб. д.ф.-м.н. О. И. Лейпунский (1909–1980) // Институт химической физики (очерки истории). — Черноголовка: ИХФ АН СССР, 1992. С. 221–227.
42. Ассовский И. Г. Эрозионное горение и устойчивость работы РДТТ. Развитие идей Ю. А. Победоносцева и О. И. Лейпунского // 6-я Всеросс. конф. по внутрикамерным процессам. — С.-Пб.: Гос. политехн. ун-т, 2008.
43. Ассовский И. Г., Берлин А. А., Манелис Г. Б., Мержанов А. Г. Профессор О. И. Лейпунский // Космический вызов XXI века. Т. 4. Химическая и радиационная физика / Под ред. И. Г. Ассовского, А. А. Берлина, Г. Б. Манелиса, А. Г. Мержанова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. С. 3–10.
44. Пепекин В. И. О. И. Лейпунский — алмазная проблема и ее развитие // Космический вызов XXI века. Т. 4. Химическая и радиационная физика / Под ред. И. Г. Ассовского, А. А. Берлина, Г. Б. Манелиса, А. Г. Мержанова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. С. 25–32;
45. Истратов А. Г., Маршаков В. Н. Исследование нестационарного горения порохов и твердых ракетных топлив в лаборатории О. И. Лейпунского // Космический вызов XXI века. Т. 4. Химическая и радиационная физика / Под ред. И. Г. Ассовского, А. А. Берлина, Г. Б. Манелиса, А. Г. Мержанова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. С. 325–334.

И. Г. Ассовский, В. Н. Маршаков, Г. П. Кузнецов, А. А. Сулимов