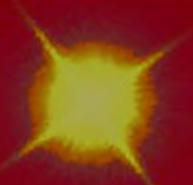


**Из истории создания
высокоэнергетических
лазеров и лазерных систем в
СССР**

**Профессор, к.ф.м.н П.В.Зарубин
Д.т.н. С.Д.Польских**



Эта публикация основана на работах тысяч советских ученых, инженеров, военных специалистов и работников государственного аппарата, которые участвовали в проведении многочисленных научно-технических и конструкторских оборонных программ в области высокоэнергетических лазеров (ВЭЛ) в 1964 – 1980 годах. Невозможно даже просто упомянуть здесь все эти программы и имена их участников и руководителей, так значителен был объем этих работ.

Более 50 лет тому назад усилия ученых из разных стран, в первую очередь из США и СССР, привели к появлению новой науки - КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.



Чарльз Таунс



**Александр
Прохоров**



Николай Басов



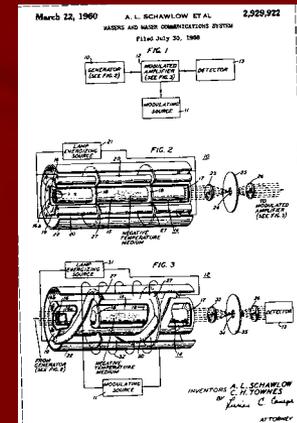
Чарльз Таунс, Александр Прохоров и Николай Басов были удостоены Нобелевской премии по физике 1964 года «за фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию генераторов и усилителей, основанных на мазерно-лазерном принципе».



Как только засиял первый лазер, созданный
Теодором Майманом в 1960 г., многим ученым
и военным специалистам
пришла в голову мысль,
что возможно создать оружие, способное
дотла «сжигать» мишени лазерным лучом
высокой энергии.



Первые 10-15 лет “лазерной эры” (1960 –
1975) были предельно насыщены
«лазерными» открытиями и
изобретениями.
В СССР царил дух всеобщего
энтузиазма...



Преобладала вера в возможности лазерной науки и техники успешно
решить исключительно сложные и даже фантастические задачи.
В этот начальный период было изобретено большинство известных
сегодня ВЭЛ и построены многие мощные лазерные стенды и
экспериментальные образцы систем.

(Лазерный) ЛУЧ - оружие?



Среди тысяч полезных и эффективных применений лазеров во всех областях человеческой деятельности оказалось одно, всегда естественным образом присущее роду людскому, которое быстро возникает с каждым новым изобретением - **ОРУЖИЕ**.

Идея использования светового луча, как оружия возникла более 2000 лет тому назад:



Картина Джулио Париджи, датируемая 1599 годом, изображает оборону Сиракуз в 213 году до нашей эры с помощью солнечного луча, наводимого зеркалом (зеркалами). История говорит, тем не менее, что город был вскоре все же захвачен...

«Было бы более чем ужасно, я бы даже сказал, преступно, если мы отстанем от наших соседей в этом деле, как и во многих иных случаях ...»

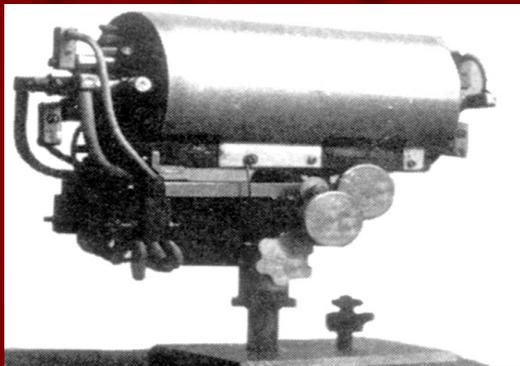
Речь князя Бориса Голицына “О развитии авиации и авиации” на сессии Российской Академии Наук, 13 декабря, 1909 года

Советские ученые и инженеры определенно не желали «отставать» в области «лазерного оружия». С 1964 года было начато множество различных НИОКР в этом направлении.

Первые советские «высокоэнергетические» лазеры

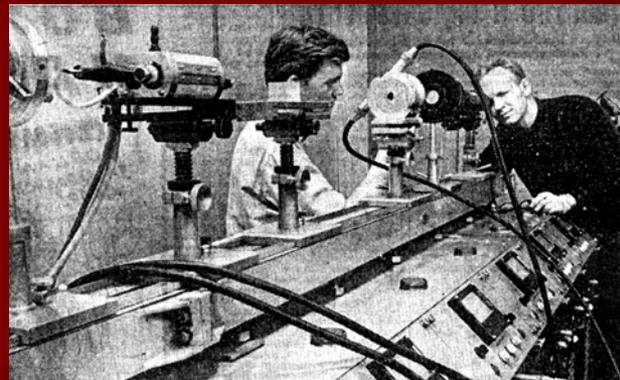
Какой лазер называть «ВЭЛ»??? Четко этого никто не определял ...ни ранее, ни сейчас.

1962	1964	1970	сегодня?
>1 Вт.	>10 Вт.	>100 кВт	> 1 МВт	Средняя мощность
>1 Дж	>100 Дж	>100 кДж	> 1 МДж	Энергия импульса

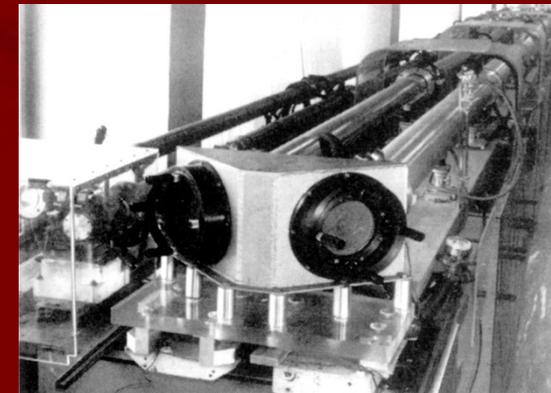


Импульсный 10 Дж лазер на рубине (сентябрь 1963)

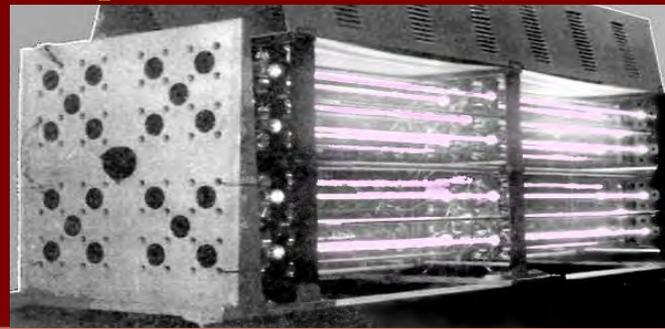
ГОИ им.Вавилова
ОКБ № 16 (КБТМ)



Рубиновый 10 Дж лазер с модулированной добротностью (ФИАН) -1963

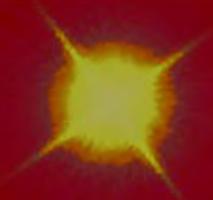


1000 Вт CO₂ лазер
НИИ 801 (НИИПФ) -1966

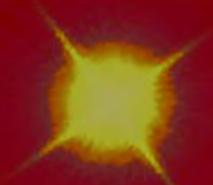


He-Ne лазер с «огромной» мощностью 0.6 Вт (многотрубный)
НИИ 801 - 1963





Конечно, эти первые лабораторные лазеры не обладали мощностью и энергией излучения, необходимыми для решения задачи создания лазерного оружия. Понимание многих научно-технических проблем пришло позже. Тем не менее достаточно быстро (в течение всего нескольких лет) исследователями были получены выдающиеся результаты по совершенствованию лазеров и повышению мощности их излучения, открывшие перспективы создания оружия на их основе. В ряде развитых стран мира, в первую очередь в США и СССР, началась гонка, финиш которой, как надеялись, принесет победителю обладание оружием большой силы и дальности действия, позволяющим почти мгновенно поражать удаленную цель.



Проблемой особой важности в США и в СССР была противоракетная оборона (ПРО). Атмосфера, в которой зарождался советский проект использования лазеров в системе ПРО, определялась тем, что в 60-е годы и в СССР, и в США создание систем ПРО рассматривались, как национальные стратегические задачи. В 1963 г. заместитель министра обороны СССР (впоследствии министр обороны) А.А.Гречко обратился к президенту АН СССР М.В.Келдышу с просьбой оценить возможность военных применений лазеров. Тот, в свою очередь, запросил мнения ведущих физиков-лазерщиков из ФИАН, в том числе Н.Г.Басова. В ответе АН СССР подчеркивался большой потенциал лазеров как для научных, так и для оборонных применений и предлагались новые направления работ по увеличению энергетики существовавших в то время лазеров и созданию лазеров новых типов.

Зиссерман
 на основании Акт АИ от 25.01.06
 Зиссермане Н.Г. Басову. В.Ф.

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени П. Н. ЛЕБЕДЕВА
 Москва, В-17 (С1) Для телеграмм МОСКВА-ФИАН Телефон В 7-14-29

При ответе сослаться на наш № [redacted] декабря 1963 г.

ПРЕЗИДЕНТУ АКАДЕМИИ НАУК СССР
 академику М. В. КЕЛДЫШУ
 Академику-секретарю Отделения
 общей и прикладной физики
 Л. А. АКИМОВИЧУ

В ответ на письмо Зам. Министра Обороны СССР Маршала
 СССР тов. ГРЕЧКО, физический институт АН СССР может сообщить
 следующее.

1. При существующих в настоящее время коэффициентах полезного действия оптических генераторов (порядка 1%) вес системы питания на конденсаторах для генератора с энергией 10^9 дж составит около 300-500 тонн.
2. По-видимому, возможно создание генераторов с энергией до 10^6-10^7 дж с использованием в качестве источника питания взрыва обычных ВВ. Один из возможных путей - предварительное преобразование энергии взрыва в электрическую энергию с последующим использованием ее в импульсных лампах. Такой источник питания однократного действия.
3. По-видимому, единственным путем создания генераторов с энергией 10^9-10^{10} дж является использование в качестве источника накачки атомного взрыва с эквивалентной энергией порядка 2000 тонн. Объем активного вещества при этом составит не менее $10-20$ м³ размер системы порядка $10-20$ м, длительность светового импульса $10^{-4}-10^{-3}$ сек. Вся система - одноразового действия.

Вопрос о применимости таких систем в качестве лучевого оружия нам не ясен.

Заместитель директора
 Физического Института
 член-корреспондент АН СССР
 (Н.Г. Басов)

Первые научные и инженерные идеи и
 схемные решения по созданию лазеров с
 многомегаваттной средней мощностью и
 многомегаджоульных импульсных лазеров **ВОЗНИКЛИ**
в СССР еще в 1963-1964 годах!

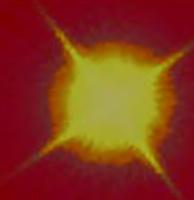
“Вероятно, можно создать генераторы с
 энергией до 10^6-10^7 дж, используя в качестве
 источника энергии взрыв обычного ВВ...” (Басов
 имел в виду лазеры). Рассматривались и лазеры с
 энергией в импульсе 10^9 дж - для накачки
 предлагалось использовать излучение взрыва
 атомной бомбы...



О.Н.Крохин и Н.Г.Басов

Письмо заместителя директора
 ФИАН Н.Г.Басова, датированное декабрем
 1963 г. и завизированное О.Н.Крохиным,
 направленное Президенту АН СССР
 М.В.Келдышу в ответ на запрос
 Министерства Обороны СССР

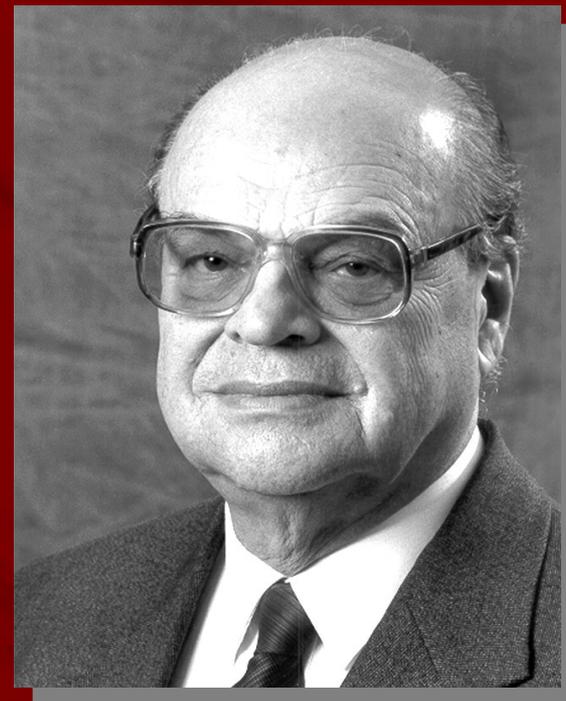
В 1963 году существовали только импульсные лазеры
 с энергией около 10 дж...!



Научные руководители двух советских крупномасштабных программ разработки высокоэнергетических лазеров



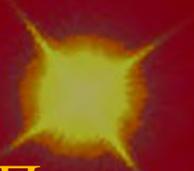
А.М.Прохоров
Научный руководитель
программы «Омега»,
начатой в 1965 г.
(«Ω»)



Н.Г.Басов
Научный руководитель
программы «Терра-3»,
начатой в 1965 г.
(«Т-3»)

С чего начинали в 1962-1965 годах...

1. Лазерных кристаллов большого объема с высокой однородностью – **НЕ БЫЛО**
2. Считали возможным изготовление крупных активных элементов из неодимового стекла,
но технологии и оборудования для их производства – **НЕ СУЩЕСТВОВАЛО**
3. Газовые среды позволяли создать большие объемы однородной активной среды (**Да**) –но способов и средств их однородной накачки
- **НЕ БЫЛО**
4. Существовали источники оптической накачки –
 - лампы вспышки, но они имели малые размеры, а спектр и плотность излучения накачки ограничивался кварцевыми стенками ламп
 - излучение открытых электрических разрядов (**требовались мощные генераторы импульсов**)
 - излучение фронта ударных волн при взрывах (**ВВ, ядерный взрыв**)– конструкции устройств взрывной накачки – **НЕ БЫЛО**



Программы «Омега» и «Терра-3» включали:

- **Фундаментальные исследования в области лазерной физики**
- **Развитие лазерной техники**
- **Разработку и испытания «больших» экспериментальных лазерных «машин»**
- **Исследования взаимодействия мощного лазерного излучения с материалами и определение уязвимости военной техники**
- **Изучение распространения мощного лазерного излучения в атмосфере (теория и эксперимент)**
- **Исследования по лазерной оптике и оптическим материалам и разработку технологий «силовой» оптики**
- **Работы в области лазерной локации**
- **Разработку методов и технологий наведения лазерного луча**
- **Создание и строительство новых научных, конструкторских, производственных и испытательных институтов и предприятий**
- **Подготовку студентов и аспирантов в области лазерной физики и техники**

ОБЩАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММ СОЗДАНИЯ ВЭЛ и СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ

ЛАЗЕРЫ



КОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ



НАВЕДЕНИЕ ЛУЧА



ЛАЗЕРНЫЕ ЛОКАТОРЫ



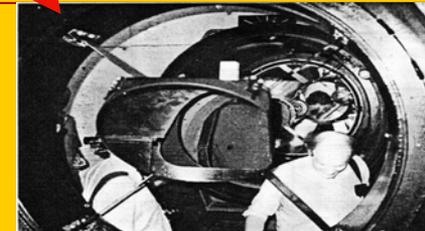
ЛАЗЕРНАЯ ОПТИКА



Исследования-Разработки Конструкции-
Испытания

Технология - Натурные
эксперименты - Производство--
Применение

ТЕЛЕСКОПЫ



АКТИВНЫЕ СРЕДЫ

Стекла
Кристаллы
Газы



ВОЗДЕЙСТВИЕ



ЛУЧЕВАЯ ПРОЧНОСТЬ



НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА



ИСТОЧНИКИ НАКАЧКИ

Электрические
Оптические
Химические
Тепловые



НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ

Конденсаторы
Магнитные накоп
Химические -
-(ВВ, топливо,
аккумуляторы)
Механические

АТМОСФЕРА



Лаборатории
Стенды
полигоны



Программа создания лазерной системы ПВО «ОМЕГА» (Ω)

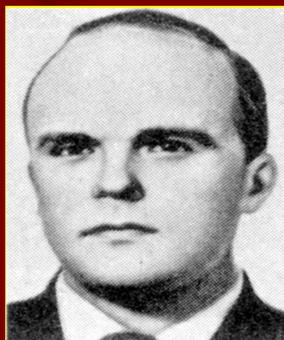
Идея создания наземной лазерной системы для противосамолетной обороны родилась летом 1966 года. Она была инициирована Б.В.Бункиным (в то время заместителем главного конструктора ОКБ «Стрела», (впоследствии – «Алмаз»), разрабатывавшим ракетные системы ПВО), и вскоре была окончательно сформулирована на встрече А.М.Прохорова (ФИАН), А.А.Расплетина (руководителя «Стрелы»), Б.В.Бункина, Е.П.Велихова (тогда руководителя филиала Института Атомной Энергии им.Курчатова в Троицке), М.Д.Миллионщикова (академика, руководителя программы МГД генераторов в СССР), Ф.В.Бункина (ведущего ученого из лаборатории А.М.Прохорова).



А.М.Прохоров



Б.В.Бункин



Е.П.Велихов



М.Д.Миллионщиков



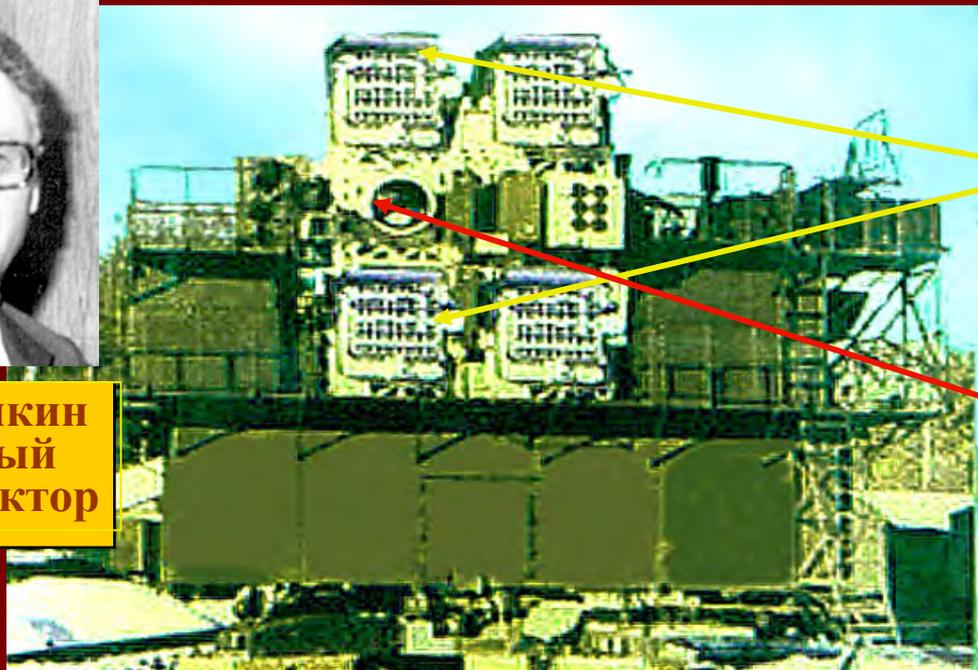
Ф.В.Бункин

Лазерная энергия, требуемая для поражения воздушной цели, была определена такой же, как и суммарная кинетическая энергия осколков типовой боеголовки ракеты «земля – воздух» .
Была поставлена задача создания лазера для системы Ω с общей энергией «выстрела» 10 МДж .

Экспериментальная многолучевая лазерная система «Ω» на стекле с неодимом



Б.В.Бункин
главный
конструктор



**96-канальный лазер X-1 -
1972 г.**

4 x 24 - 100 КДж в импульсе
2-элементные лазерные модули
на «шпалах» из ND- стекла
размером 1000x240x40 мм

**Лазерный локатор и
система точного наведения**

**Импульсный источник
электропитания - 500 МВт**
магнетогидродинамический
генератор с индуктивным
накопителем



В.Д.Селезнев
конструктор



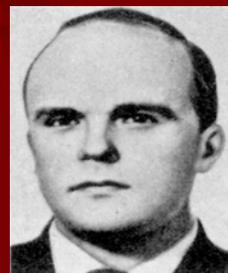
Н.Н.Поляшев
конструктор



Л.Н.Захарьев
система



И.М.Бужинский
ND-стекло
(ЛЗОС)



Е.П.Велихов
источник
энергии



М.П.Ванюков
схема лазерного
модуля



Е.М.Сухарев
система

Программа «Терра-3» (Т-3)

Идея изучения возможности использовать излучение мощного лазера для поражения ГЧБР на конечном участке траектории (ПРО) возникла в 1964 году у Н.Г.Басова и О.Н.Крохина.

Осенью 1965 г. Н.Г.Басовым, научным руководителем ВНИИЭФ Ю.Б.Харитонов, заместителем директора ГОИ по научной работе Е.Н.Царевским и главным конструктором ОКБ «Вымпел» Г.В.Кисунько была направлена записка в ЦК КПСС, в которой говорилось о принципиальной возможности поражения ГЧБР лазерным излучением и предлагалось развернуть соответствующую экспериментальную программу. Предложение было одобрено и программа работ по созданию лазерной стрельбовой установки для задач ПРО, подготовленная совместно ОКБ «Вымпел», ФИАН и ВНИИЭФ, была утверждена решением правительства в 1966 г. Предусматривалась разработка высокоэнергетических фотодиссоционных лазеров (ФДЛ) с энергией более 1 МДж и создание на их основе на Балхашском полигоне научно-экспериментального стрельбового лазерного комплекса (НЭК), на котором идеи лазерной системы для ПРО должны были быть проверены в натуральных условиях. Программа получила шифр «Терра-3».

В 1969 году из ОКБ «Вымпел» выделился коллектив СКБ, на основе которого возникло ЦКБ «Луч» (впоследствии НПО «Астрофизика»), на которое и было возложено выполнение программы «Т-3».



Н.Г.Басов



О.Н.Крохин



Ю.Б.Харитон



Г.В.Кисунько

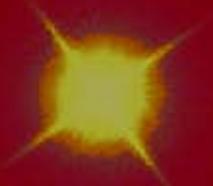


Е.Н.Царевский

**Работы по программе «Т-3» развивались в двух основных направлениях:
лазерная локация (включая проблему селекции целей)
и лазерное поражение ГЧБР.**

Важнейшие этапы программы «Т-3»

1. Идея ФД лазера (Раутиан и Собельман – ФИАН) 1961
2. Исследования лазерной локации начаты в ОКБ «Вымпел» совместно с ФИАН 1962
3. Предложено использовать излучение фронта ударной волны для оптической накачки (Крохин – ФИАН) 1962
4. Начат проект лазерного локатора ЛЭ-1 (ОКБ «Вымпел») 1963
5. Идея использования лазеров для ПРО (Басов, Крохин – ФИАН) 1965
6. Начаты эксперименты с ВФДЛ (ФИАН и ВНИИЭФ, **20Дж**) 1965
7. С ВФДЛ получена энергия в импульсе **100 Дж** 1966
8. Выбрана принципиальная схема ЛЭ-1 (ОКБ «Вымпел», ФИАН, ГОИ) 1967
9. С ВФДЛ получена энергия в импульсе **20 КДж** 1967
10. С ВФДЛ получена энергия в импульсе **300 КДж** 1968



Важнейшие этапы программы «Т-3»
(продолжение)

- | | |
|--|-----------|
| 11. С ВФДЛ получена энергия в импульсе ~ 1 МДж | 1969 |
| 12. Закончена разработка ЛЭ-1 и выпущена документация | 1969 |
| 13. Начата разработка ФДЛ с накачкой излучением электрического разряда | 1969 |
| 14. Работы по программе изучения воздействия и уязвимости | 1968-1976 |
| 15. Исследуются и создаются НФ, CO ₂ , СО лазеры высокой энергии (ФИАН, «Луч» - «Астрофизика», ВНИИЭФ, ГОИ и др.) | 1968-1976 |
| 16. Начат промышленный выпуск ВФДЛ (ФО-21, Ф-1200, ФО-32) | 1973 |
| 17. Монтаж ЛЭ-1 в Сары-Шагане и начата отработка и испытания | 1973 |
| 18. Созданы ВКР-сумматоры серии АЖ (ФИАН, «Луч» - «Астрофизика») | 1974 |
| 19. Создан мощный ФДЛ с электрической накачкой (90 КДж) | 1975 |
| 20. Успешно испытан ЛЭ-1 (по самолетам, ГЧ и спутникам с УО) | 1978 |
| 21. Создан 500 кВт электроионизационный CO ₂ лазер («Луч» - «Астрофизика», ФИАН) | 1976 |

Лазерный локатор ЛЭ-1

Потенциальная возможность лазерных локаторов обеспечивать особо высокую точность измерений положения цели изучалась в ОКБ «Вымпел», начиная с 1962 г. В результате проведенных исследований, в начале 1963 г. в Военно-промышленную комиссию (ВПК, орган государственного управления военно-промышленным комплексом СССР) был представлен проект создания экспериментального лазерного локатора для ПРО, получившего условное название **ЛЭ-1**. Проект основывался на работах **ФИАН** по исследованиям и созданию лазеров на рубине. Локатор должен был осуществлять за короткое время поиск целей в «поле ошибок» радиолокаторов, обеспечивавших целеуказание лазерному локатору, что требовало весьма высоких по тем временам средних мощностей лазерного излучателя. Окончательный выбор структуры локатора определило реальное состояние работ по лазерам на рубине, достижимые параметры которых на практике оказались значительно ниже первоначально предполагавшихся: средняя мощность одного лазера вместо ожидавшихся **1 кВт** составила в те годы примерно **10 Вт**. Опыты, проведенные в лаборатории Н.Г.Басова в **ФИАН**, показали, что наращивание мощности путем последовательного усиления лазерного сигнала в цепочке (каскаде) лазерных усилителей, как это предусматривалось сначала, возможно лишь до определенного уровня. Слишком мощное излучение разрушало сами лазерные кристаллы. Возникли и трудности, связанные с термооптическими искажениями излучения в кристаллах. В связи с этим пришлось установить в локаторе не один, а **196** поочередно работающих с частотой **10 Гц** лазеров с энергией в импульсе **1 Дж**. Общая средняя мощность излучения многоканального лазерного передатчика локатора была около **2 кВт**. Это привело к значительному усложнению его схемы, которая была многолучевой как при излучении, так и при регистрации сигнала. Потребовалось создать высокоточные быстродействующие оптические устройства для формирования, переключения и наведения **196** лазерных лучей, определявших поле поиска в пространстве цели. В приемном устройстве локатора использовалась матрица из **196** специально разработанных ФЭУ.



Задачу усложняли погрешности, связанные с крупногабаритными подвижными оптико-механическими системами телескопа и оптико-механическими переключателями локатора, а также с искажениями, вносимыми атмосферой. Достаточно сказать, что общая длина оптического тракта локатора достигала 70 м и в его состав входили многие сотни оптических элементов - линз, зеркал и пластин, в том числе движущихся, взаимная юстировка которых должна была сохраняться с высочайшей точностью.

В 1969 году проект ЛЭ-1 был передан в ЦКБ «Луч». Главным конструктором ЛЭ-1 был назначен Н.Д.Устинов. В создании локатора принимала участие широкая кооперация предприятий оборонного комплекса: силами ЛОМО и ленинградского завода «Большевик» создавался уникальный по комплексу параметров телескоп ТГ1 для ЛЭ-1. Этот телескоп с диаметром главного зеркала 1.3 м обеспечивал высокое оптическое качество лазерного луча при работе со скоростями и ускорениями в сотни раз более высокими, чем у классических астрономических телескопов. Были созданы многие новые узлы локатора: быстродействующие точные сканирующие и переключающие системы для управления лазерным лучом, фотоприемники, электронные блоки обработки сигналов и синхронизации и другие устройства. Разработанный ЦКБ «Геофизика» лазерный передатчик включал 196 весьма совершенных по тому времени лазеров, систему их охлаждения и электропитания. Для ЛЭ-1 было организовано производство высококачественных лазерных кристаллов рубина, нелинейных кристаллов KDP и многих других элементов.

Руководители разработки и создания ЛЭ-1



Н.Д.Устинов



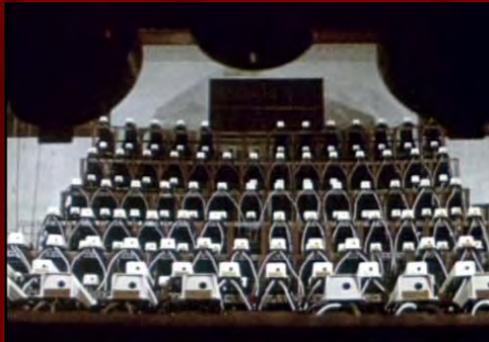
О.А.Ушаков



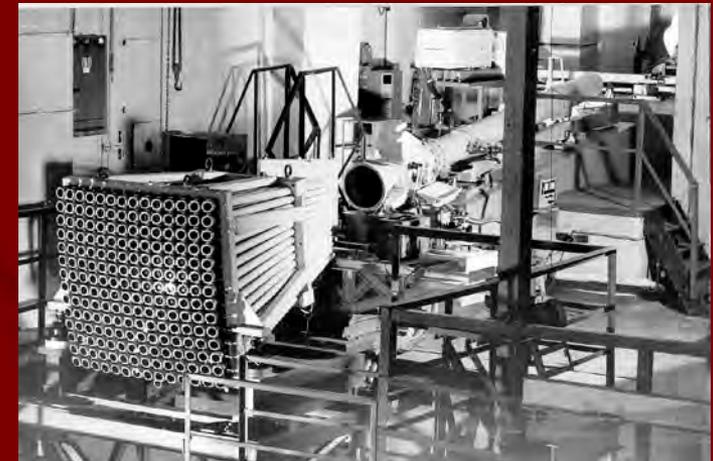
Г.Е.Тихомиров



С.В.Билибин



Передающие лазеры ЛЭ-1



Часть 70-метрового
оптического тракта ЛЭ-1

Лазерный локатор ЛЭ-1 на Балхашском полигоне

Главный конструктор телескопа ТГ-1
Б. Ионессиани (ЛОМО)

Телескоп ТГ-1
и здание локатора



Телескоп ТГ-1
с ОПУ

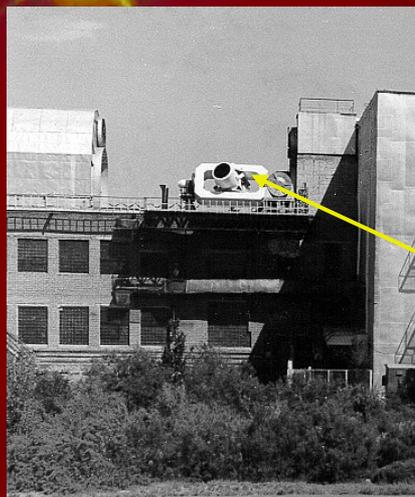
Н.Г.Басов

С помощью ЛЭ-1 были
осуществлены высокоточные
траекторные измерения и
проводки
ракет, боеголовок и КО
в 1978-80 г.г.

Руководители военного и
оборонно-промышленного
комплекса СССР на площадке
локатора ЛЭ-1
1974

Министр обороны СССР
А.А.Гречко

Министр оборонной
промышленности СССР
С.А.Зверев



Фотодиссоционный йодный лазер с накачкой излучением фронта ударной волны взрыва (ВФДЛ)

Первый лабораторный ФДЛ был создан в 1964 г. Дж.В. Каспером, Г.С. Пиментелом. В 1965 г. Н.Г.Басов и О.Н.Крохин предложили развернуть программу создания ФДЛ очень большой мощности, основанных на идее использования в качестве источника УФ оптической накачки большой мощности и энергии излучения фронта ударной волны в Хе.

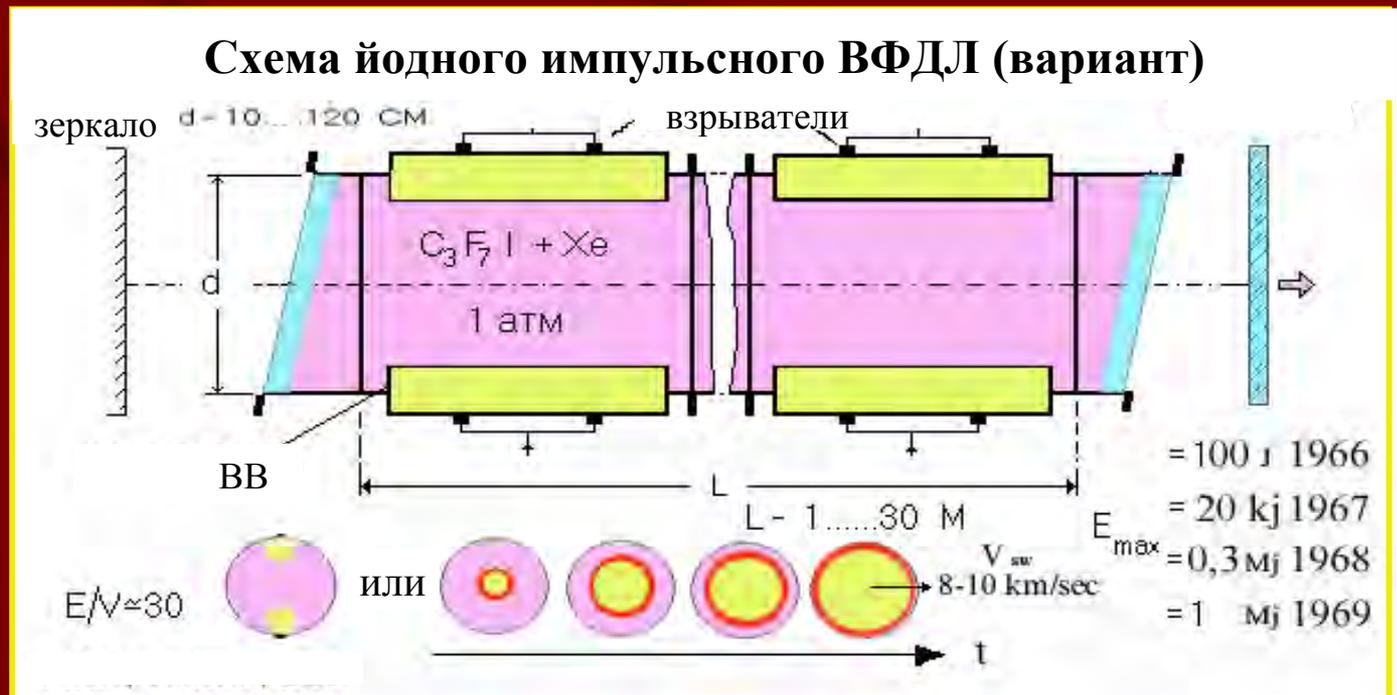
Работы по взрывным ФДЛ (ВФДЛ) в составе программы «Т-3» была развернута в кооперации ФИАН, ВНИИЭФ, ЦКБ «Луч» с участием ГОИ, ГИПХ и других предприятий. В короткие сроки был пройден путь от малых и средних макетных образцов, до ряда уникальных образцов ВФДЛ высокой энергии, выпускавшихся предприятиями промышленности.



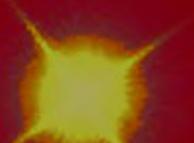
В.С.Зуев (ФИАН)
теория ВФДЛ



Г.А.Кириллов (ВНИИЭФ)
эксперименты с ВФДЛ



ВФДЛ имели модульную конструкцию и энергетику можно было регулировать, меняя число модулей



Первые эксперименты с ФДЛ, проведенные в **1965 - 1967 гг.**, дали весьма обнадеживающие результаты и к концу **1969 г.** в ВНИИЭФ с участием ученых ФИАН и ГОИ были разработаны, собраны и испытаны ФДЛ с энергией импульса излучения **сотни тысяч джоулей**, что было примерно в **100 раз выше**, чем у любого известного в те годы лазера. Конечно, к созданию йодных ФДЛ с предельно высокими энергиями удалось прийти не сразу. Опробовались различные варианты конструктивных схем лазеров. Решительный шаг в осуществлении работоспособной конструкции, пригодной для получения высоких энергий излучения, был совершен в **1966 г.**, когда в результате изучения экспериментальных данных было показано, что предложение ученых ФИАН и ВНИИЭФ (**1965 г.**) убрать кварцевую стенку, разделяющую источник излучения накачки и активную среду, можно реализовать. Общая конструкция лазера существенно упростилась и свелась к оболочке в виде трубы, внутри или на внешней стенке которой располагался удлинённый заряд ВВ, а на торцах - зеркала оптического резонатора.

Такой подход позволил спроектировать и испытать лазеры с диаметром рабочей полости более метра и длиной десятки метров. Эти лазеры собирались из стандартных секций длиной около 3 м. Несколько позже (с **1967 г.**) исследованием и конструированием ФДЛ со взрывной накачкой успешно занялся сформировавшийся в ОКБ «Вымпел», а затем перешедший в ЦКБ «Луч» коллектив газодинамиков и лазерщиков во главе с В.К.Орловым. В ходе работ были рассмотрены десятки вопросов: от физики процессов распространения ударных и световых волн в среде лазера до технологии и совместимости материалов и создания специальных средств и методов измерения параметров мощного лазерного излучения. Отдельно стояли вопросы техники взрыва: работа лазера требовала получения предельно «гладкого» и прямолинейного фронта ударной волны. Эта задача была решена, были сконструированы заряды и разработаны методы их подрыва, позволившие получить требуемый гладкий фронт ударной волны. Создание этих ВФДЛ позволило начать эксперименты по изучению воздействия лазерного излучения высокой интенсивности на материалы и конструкции целей.

ВФДЛ, созданные по программе «Т-3»



ВНИИЭФ
Руководитель работ по ВФДЛ
С.Б.Кормер



С.Б.Кормер и Ю.Б.Харитон

ЦКБ «Луч»
Руководитель работ по ВФДЛ
В.К.Орлов



Площадка ВФДЛ в ВНИИЭФ



Ф0-32 500 mm
модуль («Луч»)



Заряд ВВ



И.М.Белосува (ГОИ) -
измерительный комплекс

Laser model	Ф0 - 32	Ф0 - 21
D_{CB} , light diameter meters	0,5	1,3
$l_{ак}$, active length meters	20	20
E (pulse energy J)	$6 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^5$
τ pulse, sec	$3 \cdot 10^{-5}$	$12 \cdot 10^{-5}$
Θ (diverg_rad)	$1 \cdot 10^{-4}$	$(2 \div 3) \cdot 10^{-4}$

Характеристики ВФДЛ,
созданных в ЦКБ «Луч»

Первый в мире
МЕГАДЖОУЛЬНЫЙ
импульсный лазер
(сборка в ВНИИЭФ,
1969 г.)

Исследования взаимодействия лазерного излучения с материалами

В основе многих применений ВЭЛ лежат различные эффекты возникающие при воздействии мощного излучения с объектами. Требования к параметрам ВЭЛ для этих применений полностью зависят от характера этих эффектов. В СССР была выполнена обширная программа работ по изучению этих проблем.

Эксперименты по воздействию излучения мощных лазеров



Стальной образец толщиной 15 см, «просверленный» лучом твердотельного лазера



Б.В. Замышляев
Руководитель исследований по воздействию на объекты



А.М. Бонч-Бруевич
Руководитель исследований по лучевой прочности оптики

Эксперимент по исследованию воздействия мощного CO_2 -лазера на мишень в полете «Алмаз», 1976

Испытания воздействия лазерного излучения на аэродинамическую мишень.

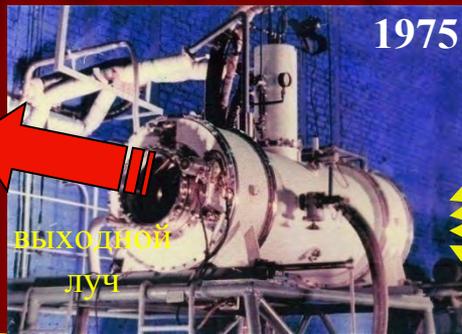


Оптика, поврежденная излучением ВЭЛ



ВКР-лазеры – “сумматоры”

Расходимость излучения первых ВФДЛ была неудовлетворительной – на два порядка выше дифракционного предела, что препятствовало доставке энергии на значительные расстояния. В 1966 г НГ.Басов и И.И.Собельман с сотрудниками предложили решить проблему путем использования двухкаскадной схемы – лазер 2-го каскада на комбинационном рассеянии (ВКР-лазер), накачиваемый несколькими ВФДЛ лазерами с «плохой» расходимостью. Высокий КПД ВКР-лазера и высокая однородность его активной среды (сжиженные газы) позволили создать высокоэффективную 2-каскадную лазерную систему. После исследований физики ВКР-лазеров в ФИАН и ВНИИЭФ «команда» ЦКБ «Луч» успешно провела на полигоне «Сары-Шаган» в Казахстане серию экспериментов с 2-каскадной системой. Пришлось использовать крупногабаритную оптику из специально разработанного плавленного кварца, чтобы обеспечить лучевую прочность выходного зеркала ВКР-лазера.



1975

от ВФДЛ

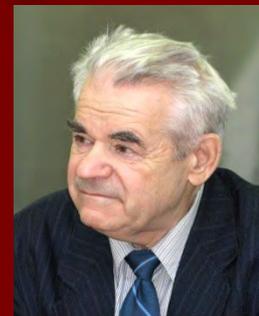
выходной
луч

ВКР-лазер на жидком кислороде
АЖ-5Т

энергия импульса ~ 90 КДж -
апертура 400мм
КПД - 70%



Многозеркальная растровая
система, использовавшаяся для ввода
излучения ВФДЛ
в ВКР-лазер



Е.М. Земсков
Руководитель работ
по ВКР-лазерам
в ЦКБ «Луч»



Стеклопная оптика
400 мм, разрушенная
излучением мощного
ВКР-лазера.
Заменена на кварцевую
особо чистую (из газовой фазы)

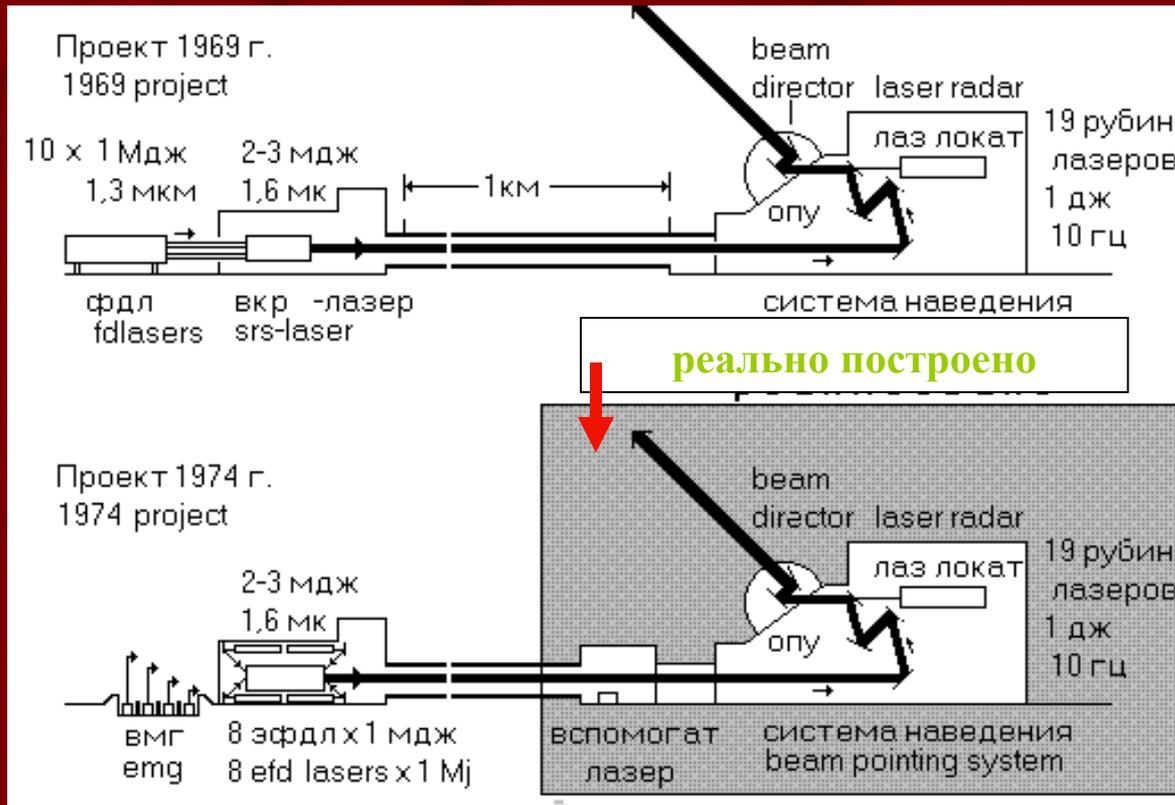
Научно-экспериментальный комплекс(НЭК) “Терра-3”

В 1966 г. лидеры программы “Терра-3” из ОКБ “Вымпел” начали разработку полигонного НЭК (на полигоне ПРО «Сары-Шаган»).

НЭК предназначался для экспериментальных работ в области использования импульсных лазеров для поражения (повреждения) ГЧБР на завершающем участке траектории.



Некоторые руководители разработок и испытаний лазерных систем на полигоне «Сары-Шаган» 1978 г.



Проект НЭК неоднократно пересматривался и уточнялся в 1966-1975 гг. по мере того, как углублялось понимание проблем воздействия излучения на мишени, совершенствовалась лазерная техника.

НЭК не был завершен, только система наведения была полностью смонтирована, но не испытана, были смонтированы лишь вспомогательные лазеры локатора наведения и имитатора силового луча...



The directed-energy R&D site at Sary Shagan proving ground includes ground-based lasers that could be used in an antisatellite role today and possibly a ballistic missile defense role in the future.

Рисунок НЭК из материалов, представленных США на переговорах в Женеве в 1978 г.



Система наведения НЭК



E.P.Velikhov, US delegation and Russian experts visiting Sary-shagan testground in 1989

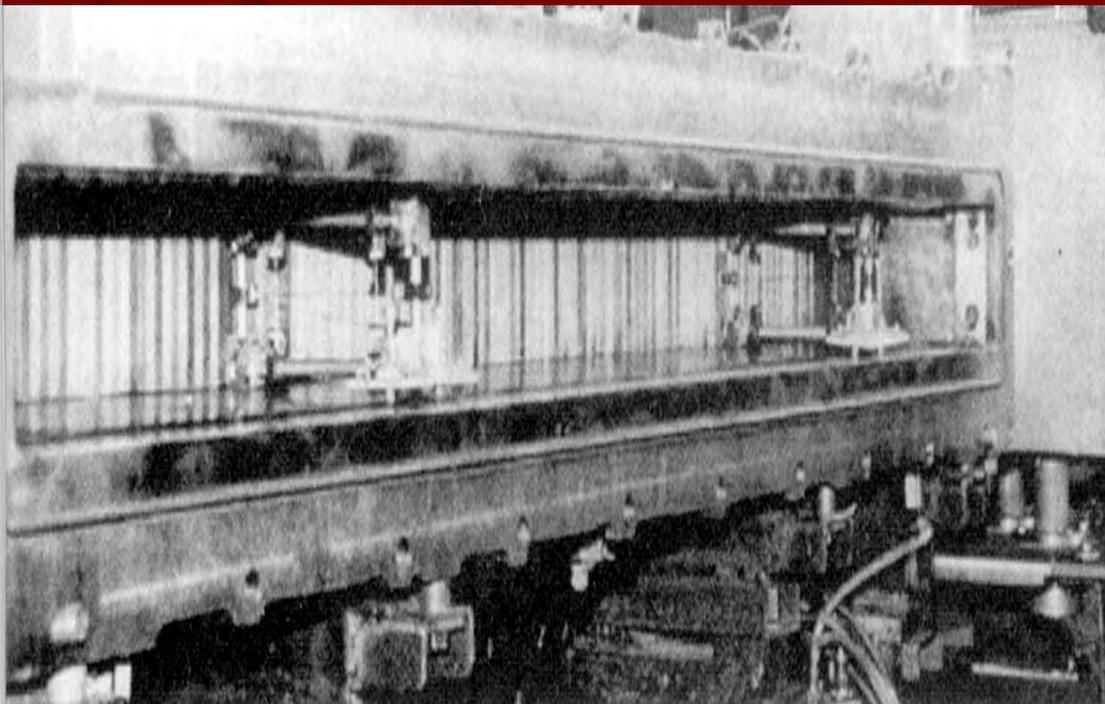
Русские и американцы на полигоне «Сары-Шаган» (1988 г.)

Наряду с созданием НЭК, фотодиссоционных лазеров и лазеров-сумматоров для этого комплекса, в 70-х годах был осуществлен целый ряд программ исследований и разработок по другим видам мощной лазерной техники.

Первые высокоэнергетические CO₂-лазеры

По мере появления различных вариантов CO₂-лазеров, многими НИИ и ОКБ был построен и испытан целый ряд ВЭЛ на CO₂ (более 10!) со средней мощностью от 100 кВт до > 1 МВт.

Газодинамические лазеры



Н.Н. Поляшев
Руководитель
подразделения ГДЛ в
«Алмазе»

В 1973 г. и позже по инициативе А.М. Прохорова и Б.В. Бункина «Алмазом» был создан ряд ГДЛ высокой средней мощности

Электроионизационные лазеры



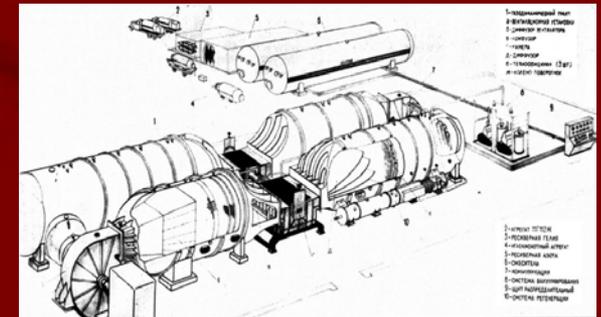
**Г.Г.Долгов-
-Савельев**
Руководитель
работ по
ЗД01



Частотно-импульсный лазер ЗД01~ 1 МВт класса с ионизацией электронным пучком был построен в 1976-78 г.г. в ЦКБ «Луч» по предложению и при участии Н.Г.Басова и его сотрудников в ОКБ «Радуга» (позже –ГНИИЛЦ). Средняя мощность его ~ 500 КВт при частоте повторения до ~ 200 Гц. Использовалась схема с «замкнутым» газодинамическим контуром . Позже был создан усовершенствованный лазер...



**Усовершенствованный
частотно-импульсный
ЭИ лазер 1 МВт класса
КС-10, разработанный
ЦКБ “Астрофизика”.
5-10 КДж в импульсе –
Частота повторения
100-150Гц (1980)**



**Схема газового тракта лазера
КС-10**



**Н.В.Чебуркин
Руководитель
работ
по лазеру КС-10**



**Здание и площадка лазера КС-10
в ГНИИЛЦ “Радуга”**



**Экспериментальный СО-лазер
СОЛ (ТРИНИТИ-Троицк)**

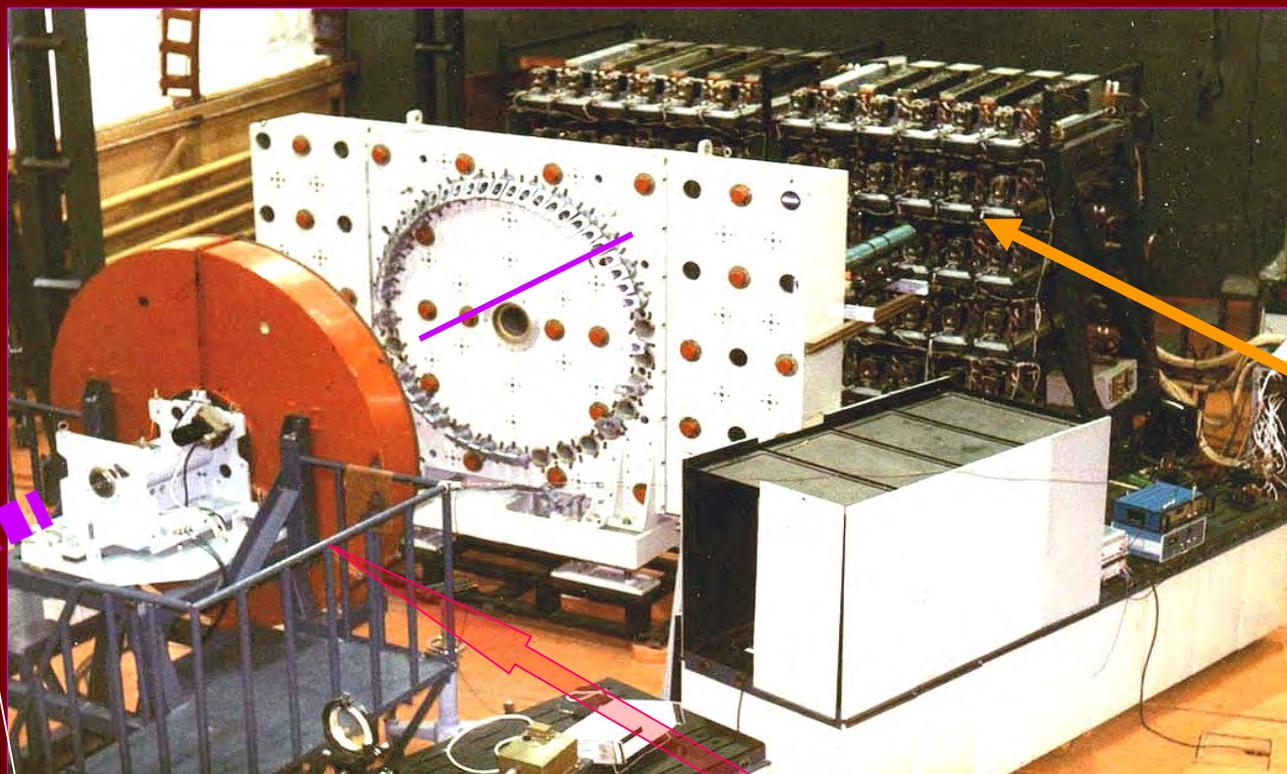
Лазерная установка на стекле с неодимом с высокой частотой повторения импульсов "ТАНДЕМ"



Ю.И.Кружилин



Ю.А.Калинин



ВЫХОДНОЙ
луч

64 лазерных
модуля

- Номинальная энергия каждого канала — **1.5 - 2 КДж**
- Модули стреляют поочередно с выводом излучения на общую ось с помощью вращающегося оптического коммутатора
- Общая частота повторения импульсов - **100 Гц**
- Средняя мощность - **~ 150 КВт** в течение **2-3 сек.**
- Источник питания — **6 КВ, 10 МВт, 50 Гц** промышленная сеть, без накопителя
- Разработан «Астрофизикой» и «Радугой»

Лазеры и оптическое противодействие

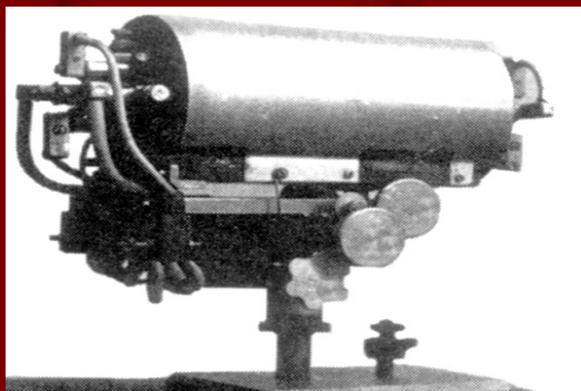


А.Э. Нудельман

Первым советским оружейником-разработчиком, начавшим в 1962 году работы по лазерным системам противодействия с использованием (сравнительно) “мощных” лазеров был всемирно-известный главный конструктор Александр Эммануилович Нудельман.

Руководитель оборонного комплекса СССР Д.Ф.Устинов, посещая в 1962 г. КБ Точного машиностроения (КБТМ), привлек внимание А.Э.Нудельмана к появлению лазеров и поручил ему заняться их применением в военных и гражданских целях. Вскоре КБТМ создало целый ряд оборонных, технологических и медицинских лазерных приборов и установок на основе твердотельных лазеров на рубине и стекле с неодимом. Работы эти велись в тесном сотрудничестве с учеными-лазерщиками ГОИ им.Вавилова. Ряд систем разработки КБТМ выпускался серийно.

Один из первых советских экспериментов по лазерной локации Луны был проведен астрономами Московского Университета 8-13 сентября 1963 г с использованием рубинового лазера с энергией импульса 60 Дж, созданного КБТМ и ГОИ



Переносная установка для лазерного оптического противодействия, созданная КБТМ

Наземные лазерные системы противодействия

В.К.Орлов



Ученые, инженеры и «заказчики» в испытательном центре «Радуга»

1979



Экспериментальная лазерная система (НПО «Астрофизика»)

1975



Система первого поколения (НПО «Астрофизика»)

Ю.И.Кружилин



П.Н.Кулешов
Начальник
ГРАУ МО СССР



Система 2-го поколения (НПО «Астрофизика»)



Е.В. Можелев



Н.А. Беженцев

МОБИЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

В СССР в 70-х 80-х г.г. выполнялся целый ряд программ, направленных на создание мобильных систем с ВЭЛ различного назначения. Эти экспериментальные системы достигли различных уровней отработки и натурных испытаний.



Астрофизика

Мобильная установка с CO_2 -лазером



Альтаир

Лазерная пушка (МСУ)

Корабль с лазерной установкой



Алмаз

Экспериментальная авиационная
лазерная установка



Алмаз

Адаптивная система наведения

Испытательный центр «Радуга»

По мере появления «больших» лазеров уже в начале 70-х г.г. стало ясным, что их отработка и испытания не могут быть выполнены в существующих лабораториях и возникла необходимость создания специальных стандовых и испытательных организаций и баз.

Одним из таких предприятий стало «ОКБ «Радуга».

Для его строительства было выбрано заброшенное военное «стрельбище» в Центральной части России, в 15 км от г.Владимира, в лесистой и заболоченной ненаселенной местности. Стройка была начата в 1972 году.



Так выглядела местность в 1971 г



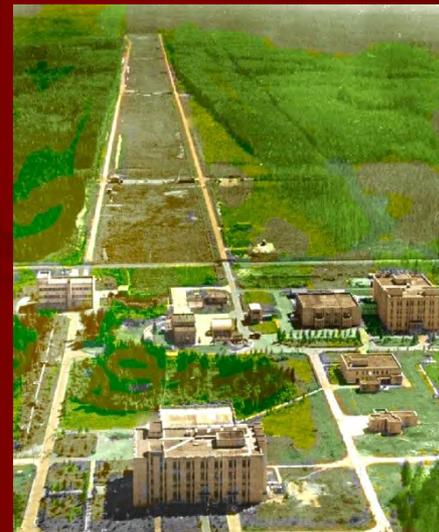
Генерал
И.С.Косьминов
руководил созданием
«Радуги»



Лазерные испытательные
лаборатории



Лазерный
«телескоп»



Испытательный
комплекс
и трасса



Единственный «лазерный» город в мире



Твердотельный лазер



Лаборатория

В ходе выполнения лазерных программ в СССР были вновь созданы или расширены многие институты, конструкторские бюро и испытательные базы и полигоны



Здания НПО «Астрофизика»



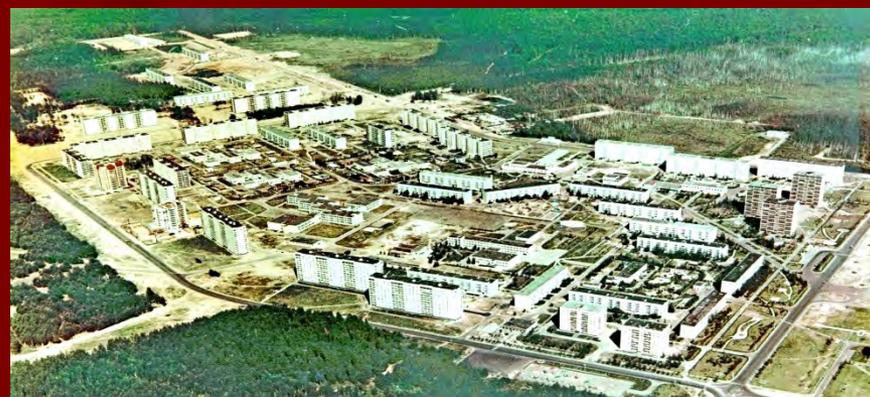
**Институт Общей Физики АН
им.А.М.Прохорова, корпус «Омега»**



Здание ОКБ «Гранат»



Испытательный центр «Радуга»



«Лазерный» город «Радужный»

Некоторые другие лазерные программы СССР

Химические непрерывные лазеры (HF, DF и др.) – ФИАН (Н.Г.Басов, А.Н. Ораевский, Е.А.Маркин с 1971 г.), КБ Энергомаш (Б.И. Каторгин), ГИПХ (В.С.Шпак, М. Ротинян), “Астрофизика” (В.Орлов, А.Пискунов)

Импульсные химические лазеры ФИАН (Н.Г.Басов, А.Н. Ораевский, Е.А.Маркин), ВНИИЭФ – (С.Б.Кормер, М.В.Синицын), Ин-т Химфизики - (В.Л. Тальрозе, Г.Васильев, Ю.Гордон)

Газодинамические и электроразрядные CO₂ – лазеры и СО-лазеры (множество установок, институтов, КБ и ученых!) – ФИАН (А.М.Прохоров, Н.Г.Басов..), «Алмаз», ВНИИЭФ, ТРИНИТИ, КБХА (Воронеж) – **600 кВт**), и др....

Распространение мощного ЛИ в атмосфере –Институт Оптики Атмосферы СО АН (В.Зуев и др.), Ин-т Физики Атмосферы (А.М.Обухов и др.), Институт Экспериментальной Метеорологии и проч.

ФДЛ с накачкой излучением мощных электрических разрядов – ВНИИЭФ (А.И.Павловский и его сотрудники – до **90 КДж**), ГОИ (И.М.Белюсова, И.В. Подмошенский)

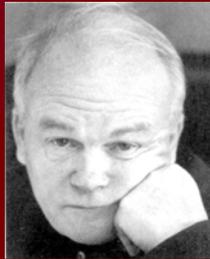
Лазерная оптика, оптические материалы и технологии - ГОИ, (Г.И.Петровский и сотрудники филиала), ОКБ ЛЗОС (И.М.Бужинский), ГИПО (Казань), Институт кварцевого стекла и др.

Измерение параметров мощного лазерного излучения и лазерные стандарты ВНИИ Опτικο-физических Измерений, и др.

Лазерные программы СССР координировались научно-техническими советами



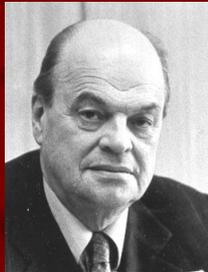
С.Кормер



Е.Велихов



А.Прохоров



Н.Басов



Б.Бункин



Ю.Харитон



О. Крохин



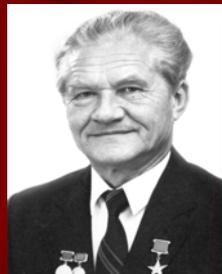
Б.Замышляев



А.Павловский



Н.Устинов



В.Орлов



М.Мирошников



А.Мак



Е.Царевский



А. Бонч - Бруевич



В.Тальрозе

и другие...



Д.Ф.Устинов Л.И.Горшков А.П.Александров Б.Е.Львов Н.Г.Басов

Министр
Обороны СССР и
глава
оборонно-
промышленного
комплекса
Д.Ф.Устинов
обсуждает ход
лазерных программ
с учёными



Заседание НТС

Великие лазерные ученые, ушедшие от нас



А.М.Прохоров
1941-1944
Офицер
военной разведки.
Два года на фронте.
Дважды ранен.



2001 г.



Н.Г.Басов
1941-1945
Военфельдшер
на фронте

В 1994 году Н.Г.Басов, отвечая на вопрос об итогах лазерной программы “Терра-3”, сказал:

“Ну, мы твердо установили, что никто не сможет сбить боеголовку БР лазерным лучом, и мы здорово продвинули лазеры...”



В ходе научно-исследовательских программ по лазерам, выполнявшихся под руководством Н.Г.Басова и А.М.Прохорова, были достигнуты выдающиеся успехи. Были созданы лазеры различных типов с высокими энергетическими характеристиками. В ФИАН было исследовано новое явление в области нелинейной оптики лазеров - обращение волнового фронта излучения. Это крупное открытие позволило в дальнейшем совершенно по новому и весьма успешно подойти к решению ряда проблем физики и техники мощных лазеров, прежде всего проблем формирования предельно узкого пучка и его сверхточного наведения на цель. Впервые именно в программе «Терра-3» специалистами ВНИИЭФ и ФИАН было предложено использовать обращение волнового фронта для наведения и доставки энергии на мишень.

Программы «Терра-3» и «Омега» привели к значительному прогрессу в области физики и техники высокоэнергетических лазеров в СССР, дали толчок к созданию принципиально новых технологий. Эти программы позволили вывести физику и технику мощных лазеров (в первую очередь импульсных и частотно-импульсных) на уровень, превосходивший в то время достижения других стран. В результате теоретических и экспериментальных работ, проведенных в рамках этих лазерных программ, удалось прийти к глубокому пониманию физики процессов в высокоэнергетических лазерах и решить серьезные технические и конструкторские проблемы. До настоящего времени эти достижения в значительной степени остаются фундаментом для развития техники мощных лазеров в России. Были получены результаты мирового уровня также в ряде смежных направлений (распространение лазерных пучков в атмосфере, импульсные источники света, взаимодействие излучения с веществом, химия и технология создания активных сред и компонентов лазеров). Многие научные и технические достижения были использованы во многих последующих работах, включая работы по инерциальному термоядерному синтезу.



Много тысяч ученых, инженеров, военных, администраторов внесли важный творческий вклад в работы, о которых здесь сказано. В научно-технической литературе можно найти не менее **10000** публикаций и докладов на конференциях по различным аспектам этих работ (хотя обычно в них не упоминался тот факт, что соответствующее исследование или разработка были частью общих скоординированных советских программ в области ВЭЛ, а иногда авторы этого и не знали...) Совершенно невозможно привести здесь полный список участников и даже руководителей работ. Удалось лишь коротко упомянуть головные предприятия, лидеров и основные программы НИР и ОКР по мощным лазерам в СССР.

Публикация состоит из материалов статьи:

-П.В.Зарубин “Академик Басов, мощные лазеры и проблема противоракетной обороны”, Квантовая электроника, том.32, № 12, 2002,

и докладов:

-П.В.Зарубин, Н.В.Чебуркин, Е.М.Сухарев “Пионерские крупномасштабные программы работ по высокоэнергетическим лазерам в СССР (1963-1976)” Доклад на XVIII конференции “Лазеры в науке, технике, медицине”, Адлер, 2007;

-П.В.Зарубин, Н.В.Чебуркин, Е.М.Сухарев «Терра и Омега –крупномасштабные пионерские советские программы высокоэнергетических лазеров» – Труды конференции LAT 2007 , Минск, Proc. SPIE, v. 6337, 2007.

См. также:

1. Е.М.Сухарев , “Роль академика Прохорова и его учеников в создании лазерных систем специального назначения” В сборнике воспоминаний «Александр Михайлович Прохоров»), Москва, Физматлит, 2006.

2. «60 лет НПО «Алмаз». Победы и перспективы», Москва, 2007, стр.113.