

Спецкурс по кафедре общей физики МФТИ

**«Физико-технические основы стратегической стабильности»**

читает профессор МФТИ Кубышкин Александр Владимирович

и приглашенные им лекторы из оборонно-промышленного комплекса

*Лекция 1.* Состояние стратегической стабильности и технические проблемы, связанные с ее поддержанием. Основные значимые факторы: совершенствование боеприпасов и высокоточных средств доставки, развитие систем ПРО и ПВО, появление оружия на новых физических принципах.

*Лекция 2.* Наземные, морские, воздушные и космические информационные системы, их задачи и общие принципы организации. Роль и место радиолокационных и оптико-электронных средств, физические и технологические ограничения их возможностей.

*Лекция 3.* Космические аппараты и орбитальные группировки. Условия наблюдения Земли из космоса. Решаемые задачи. Характеристики излучения естественных источников (Солнце, звезды) и искусственных объектов наблюдения (факелы ракет, самолетов).

*Лекция 4.* Особенности формирования фоновых условий работы оптико-электронных средств различного базирования. Спектральные модели фонов. Статистические характеристики случайных полей яркости.

*Лекция 5.* Дифракционное и реальное качество изображения. Схемы телескопов Кассегрена, Максудова, Шмидта, их преимущества и недостатки, области применимости. Параметры объектива. Функция рассеяния. Частотно-контрастная характеристика.

*Лекция 6.* Фокальные матричные фотоприемники. Схемы сканирования и способы их совершенствования. Квантовая эффективность. Спектральная чувствительность. Сигнальные и шумовые свойства фотоприемников.

*Лекция 7.* Мощные компактные лазеры и их военное применение. Технологическая зрелость различных концепций оружия на новых физических принципах. Реалии и перспективы.

*Далее* – семинары, подготовка вопросов по выбору, планы трудоустройства

**Курс читается в весеннем семестре по субботам в 17.05 в аудитории 517аГК. Первое занятие курса состоялось 10 февраля 2018 года**

## Задачи к семинарам

(возможны в качестве основы для вопросов по выбору по общему курсу физики)

1. Два микрофона, расположенные на одной вертикали с расстоянием  $H = 1 \text{ м}$  друг от друга, фиксируют сверхзвуковой хлопок от горизонтально летящей над ними крылатой ракеты. При этом нижний микрофон срабатывает на  $\tau = 1 \text{ мс}$  позже, чем верхний. Определить скорость низколетящей крылатой ракеты.
2. Оценить фокусное расстояние и диаметр телескопа спутников обнаружения ракетного нападения. Известно, что их всего пять, они обеспечивают полное перекрытие земной поверхности, размещены на геостационарных орбитах, каждый размером с автобус и выводится на орбиту одной тяжелой ракетой.
3. Американский эсминец сопровождает северокорейскую баллистическую ракету, поднимающуюся над горизонтом. При этом по мере подъема цели наблюдаются периодические усиления и ослабления принимаемого сигнала (первый максимум зафиксирован при угле возвышения  $0,1 \text{ град}$ , второй –  $0,2 \text{ град}$  и так далее). На какой длине волны работает радиолокационная станция эсминца, если высота антенной решетки над уровнем моря составляет  $10 \text{ м}$ , ее размер примерно  $1 \text{ м}$ , а удаление от места старта  $100 \text{ км}$ ? Волнения моря не наблюдаются.
4. Оценить дальность действия радиолокационной станции, которая должна селективировать и распознавать на фоне холодного космоса объекты размером примерно  $1 \text{ м}$  при расстояниях между ними порядка десятков метров. Диаметр антенны  $20 \text{ м}$ . Число приемопередающих элементов  $100 \times 100$ . Рабочая длина волны  $1 \text{ см}$ .
5. Оценить максимальную дальность перехвата ракеты без внешнего целеуказания и с ним. Скорость мишени и противоракеты – по  $5 \text{ км/с}$ . Время обработки сигнала –  $10 \text{ с}$ . На сколько снизит эту цифру сопротивление воздуха и потери на разгон и управление маневром противоракеты?
6. Оценить скорость сильной ударной волны в воздухе, если давление в ее фронте составляет  $10 \text{ атм}$ .
7. Какова предельная степень сжатия металлического шарика давлением излучения лазера рекордной мощности ( $10^{22} \text{ Вт/см}^2$ )? С какой максимальной линейной скоростью сжимается этот шарик? Как изменится ответ при учете давления электронного ферми-газа?
8. В экспериментах по инерциальному термоядерному синтезу используется эффект самосжатия длинной цилиндрической оболочки радиуса  $R$ , вдоль оси которой пропускают ток  $I$ . Оценить максимально реализуемую плотность рабочего вещества (дейтерий-тритиевая смесь) в процессе сжатия.
9. Оценить максимальные температуру и давление в центре ядерного взрыва, эквивалентного  $10 \text{ тыс. тонн}$  тротила, если в реакции деления урана выделяется примерно  $200 \text{ МэВ}$  на одно делящееся ядро, причем большая часть этой энергии переходит в кинетическую энергию ядер-осколков.

10. При делении урана могут образоваться ядра осколков  ${}^{60}_{28}\text{Ni}$  и  ${}^{132}_{54}\text{Xe}$ . Оценить энергию, освобождающуюся при делении, как результат электростатического отталкивания этих осколков.
11. Интенсивность мощной электромагнитной волны радиочастотного диапазона составляет  $1 \text{ Вт/см}^2$ . Оценить амплитуду колебаний электрического и магнитного полей этой волны и токи наводок по поверхности металлической коробки с характерным размером  $10 \text{ см}$ .
12. Определить максимально достижимое пространственное разрешение картинки земной поверхности, полученной на длине волны  $500 \text{ нм}$  со спутника, находящегося на орбите высотой  $200 \text{ км}$ . Оптический тракт считать идеальным.
13. Оценить предельную дальность действия мощного лазера по мишени с характерным размером  $1 \text{ м}$ , если диаметр системы формирования поражающего луча составляет также  $1 \text{ м}$ . Каков должен быть при этом коэффициент отражения алюминиевых зеркал оптического тракта, чтобы не расплавить их?
14. Степень фокусировки пучка элементарных частиц характеризуют эмиттансом, численно равным занимаемому этим пучком объему фазового пространства. В случае пучков высоких энергий применяют понятие «поперечный эмиттанс», измеряемый в двумерном пространстве (ось координат  $x$  и угол отклонения по этой оси полного импульса частиц  $p_x/p_z$ , где  $p_x \ll p_z$ ). В одном из проектов космического ускорителя нейтральных атомов водорода Лос-Аламосской лаборатории США на выходе пучка из установки заявлен поперечный эмиттанс  $0,25 \text{ мм} \cdot \text{мкрад}$ . Оценить минимально необходимую для этого кинетическую энергию атомов и относительную погрешность, которая будет допущена, если для данной оценки использовать нерелятивистские формулы.
15. Космическая пушка представляет собой сверхпроводящий соленоид, на оси которого находятся выталкиваемые полем небольшие диамагнитные шарики. Каковы зависимости скорости и ускорения такого шарика от пройденного пути, если он стартует из центра соленоида? Оценить численно его скорость и ускорение при выходе из соленоида, а также скорость на бесконечности. Считать, что шарик изготовлен из специального сорта диамагнетика ( $\chi = -0,1$ ,  $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ ), а соленоид имеет длину  $L = 1 \text{ м}$ , радиус  $R = 10 \text{ см}$  и общее число витков  $N = 10^7$ , по каждому из которых течет ток  $I = 10 \text{ А}$ .
16. Какое время должен облучать холодный метеорит наземный лазер со средней мощностью излучения  $10 \text{ МВт}$ , чтобы: а) полностью испарить его? б) свести с опасной орбиты, сообщив ему дополнительную скорость  $1 \text{ км/с}$ ? Массу метеорита принять равной  $1 \text{ т}$ , материал – железо.
17. В рамках американской программы ПРО предполагалось сбивать межконтинентальные баллистические ракеты на начальном участке траектории (сразу после выхода за пределы атмосферы Земли) с помощью мощных химических лазеров ИК-диапазона. Полагая, что корпус ракеты представляет собой длинный тонкостенный ( $h = 5 \text{ мм}$ ) цилиндр из алюминиевого сплава, а космический лазер способен обеспечить мощность излучения  $W = 10 \text{ МВт}$  на длине волны  $\lambda = 2,7 \text{ мкм}$  в течение  $\tau = 1 \text{ с}$ , оценить:

- наибольшую температуру корпуса ракеты до лазерного воздействия, считая ее результатом стационарного обдува воздухом при движении в плотных слоях атмосферы со скоростью  $v = 1 \text{ км/с}$ ;

- максимальное расстояние, на котором еще можно поразить в вакууме эту ракету по критерию локального нагрева корпуса до температуры плавления алюминия ( $900 \text{ }^\circ\text{C}$ );

- минимальный требуемый для этого диаметр выходной апертуры системы формирования излучения космического лазера, полагая, что для расходимости луча достигнут дифракционный предел, а термическая прочность зеркал и других оптических элементов не ограничена.

18. В условиях предыдущей задачи корпус ракеты представляет собой длинный цилиндр из алюминиевого сплава радиусом  $R = 1 \text{ м}$  и толщиной  $h = 5 \text{ мм}$ , надутый изнутри до давления  $P = 5 \text{ атм}$ . Мощность излучения импульсного ( $\tau = 1 \text{ с}$ ) лазера на длине волны  $\lambda = 2,7 \text{ мкм}$  составляет  $W = 10 \text{ МВт}$ . Оценить:

- на какую температуру нужно локально подогреть лазером корпус ракеты, чтобы механическое напряжение в нем превысило предельную прочность на растяжение алюминия ( $\sigma_{\text{разр}} = 10^8 \text{ Па}$ );

- максимальное расстояние, на котором можно поразить в вакууме ракету за счет локального разогрева корпуса и его последующего разрыва, напряжение которого считать термодинамической функцией объема и температуры;

- минимальный требуемый для этого диаметр выходной апертуры системы формирования излучения космического лазера.

19. В условиях предыдущей задачи масса ракеты составляет  $M = 30 \text{ т}$ . Ракета поднимается вертикально с ускорением  $a = 9g$ . Оценить:

- на какую температуру нужно локально подогреть нижнюю часть корпуса ракеты (вблизи ее двигателей) для того, чтобы механическое напряжение в нем превысило предельную прочность на сжатие алюминиевой конструкции ( $\sigma_{\text{сжатия}} = 10^8 \text{ Па}$ );

- максимальное расстояние, на котором можно поразить в вакууме ракету по критерию схлопывания тонкостенной конструкции (аналог для эксперимента – сминаемая вертикальной силой консервная банка Спрайт);

- минимальный требуемый для этого диаметр выходной апертуры системы формирования излучения космического лазера.

20. До какой температуры нужно нагреть полупроводниковый диод, чтобы он гарантировано потерял свои выпрямляющие свойства? Ширину запрещенной зоны принять  $\Delta = 0,6 \text{ эВ}$ , концентрацию донорных примесей  $n_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , а статистический фактор зоны проводимости при комнатной температуре равен  $Q_0 = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

21. Оценить величину напряженности электростатического поля, приводящего к пробое Зинера (межзонному тунелированию носителей заряда) в полупроводнике с шириной запрещенной зоны  $\Delta = 1,0 \text{ эВ}$ . Эффективную массу носителей заряда принять равной  $1/10$  массы электрона.