



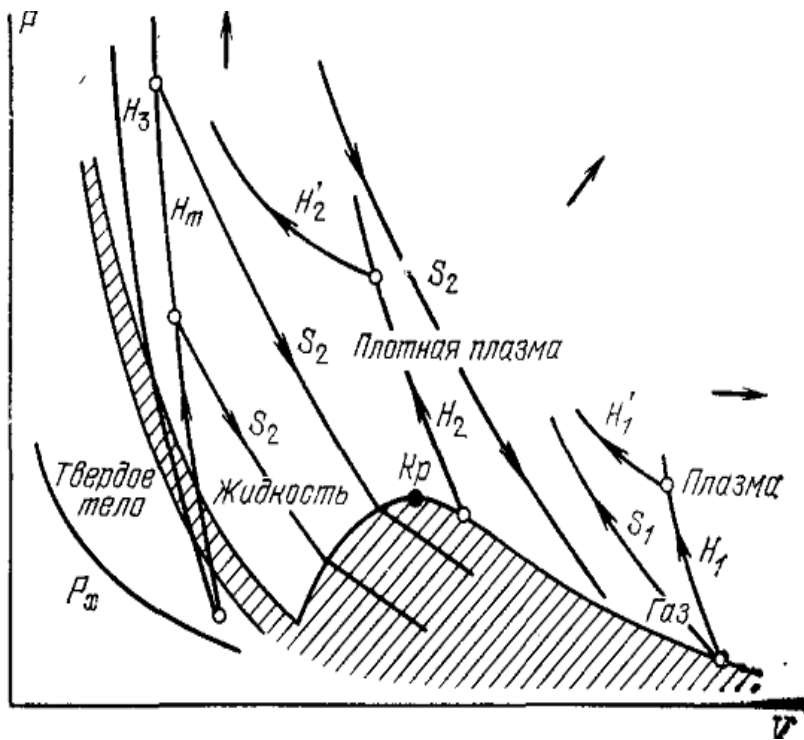
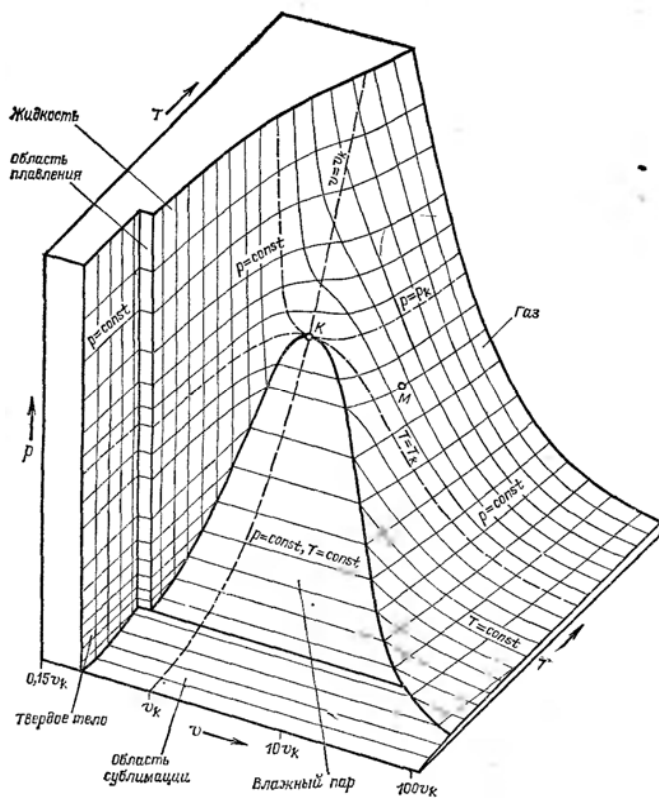
**Высокоэнергетические состояния алюминия,
индуцированные воздействием мощного лазерного
излучения наносекундной длительности на
импедансную границу металл / диэлектрик**

Ивочкин А.Ю., Капительный А.Г. *, Карабутов А.А.,
Ксенофонтов Д.М.

Международный лазерный центр МГУ им. М.В. Ломоносова

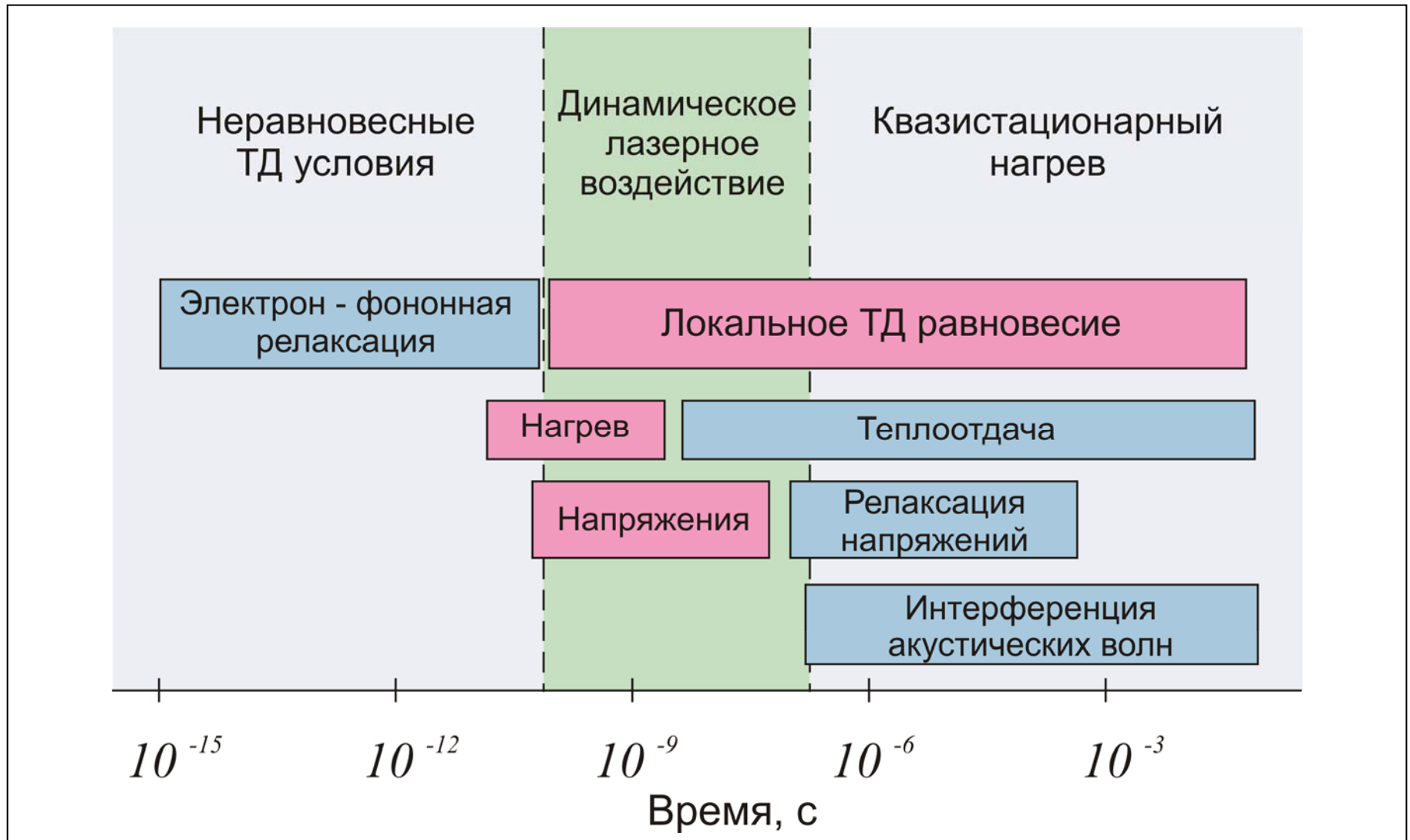
** Объединенный институт высоких температур РАН*

Решаемые задачи

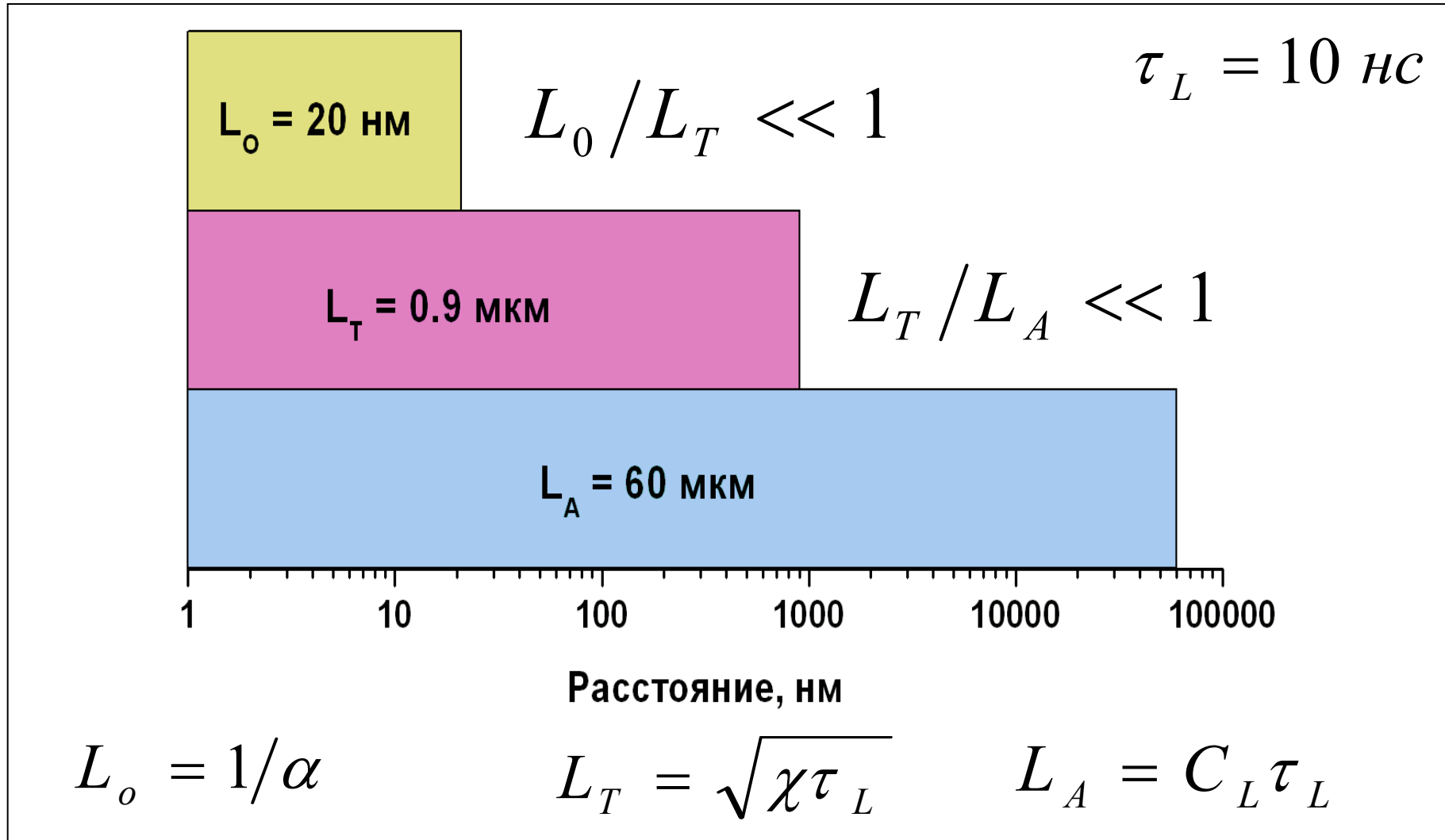


1. Исследование около и сверхкритических состояний металлов
2. Исследование метастабильных (и лабильных) состояний металлов.
3. Исследование «паровой» ветви фазовой диаграммы металлов.

Характерные временные масштабы, возникающие при импульсном лазерном нагреве металлов



Характерные пространственные масштабы, возникающие при импульсном лазерном нагреве металлов



Оценка эффективности энерговклада при лазерном нагреве

Максимально допустимая интенсивность (при наносекундной длительности):

$$q \sim (2 \div 4) 10^9 \text{ Вт/см}^2$$

Удельная скорость энерговыведения при поглощении излучения в скин-слое:

$$E = q\delta \sim 10^{14} \div 10^{15} \text{ Вт/см}^3,$$

Объемная плотность поглощенной энергии:

$$W = E * \tau_l \sim 10^6 \div 10^7 \text{ Дж/см}^3.$$

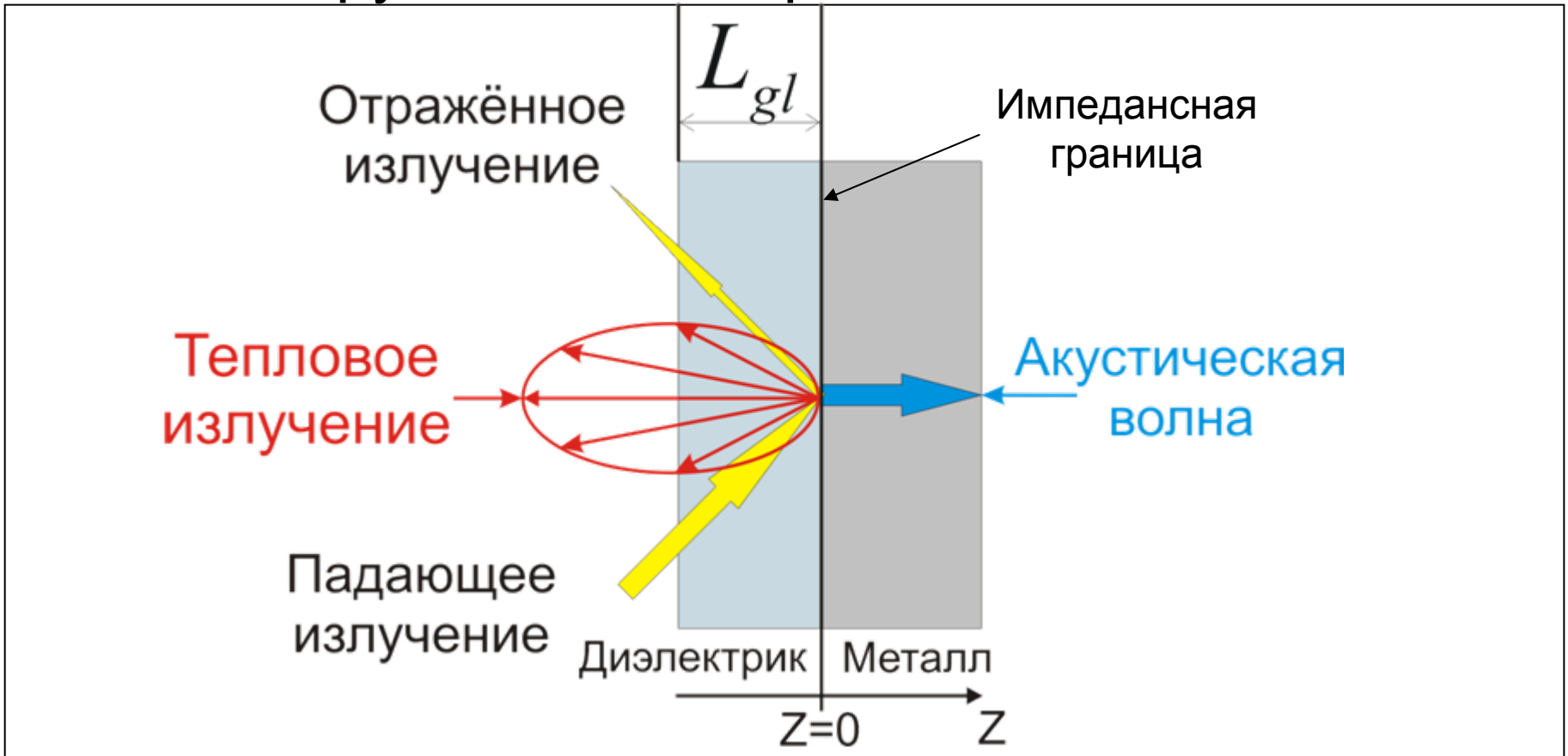
Для сравнения:

Удельная энергоемкость обычных взрывчатых веществ (ВВ): $W_{ВВ} \sim 10^4 \text{ Дж/см}^3$.

Удельная теплота сублимации вольфрама (W): $H \approx 8 * 10^4 \text{ Дж/см}^3$

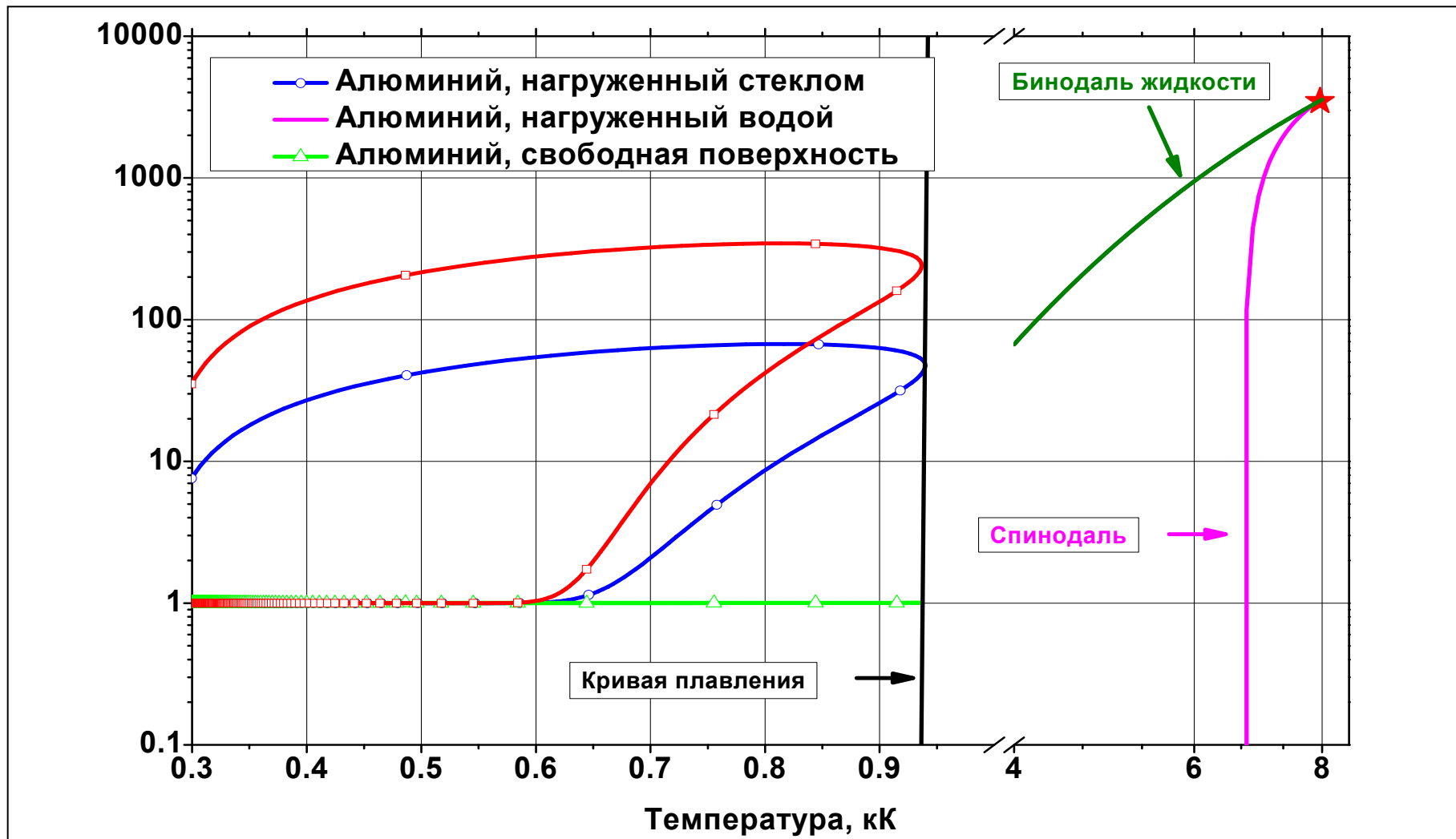
Оценка температуры, характеризующей высокоупорядоченное излучение лазера на основе закона Планка: $T \sim 10^{23} \text{ К}$ при $q \sim 10^8 \text{ Вт/см}^2$.

Импульсный лазерный нагрев механически нагруженной поверхности металлов

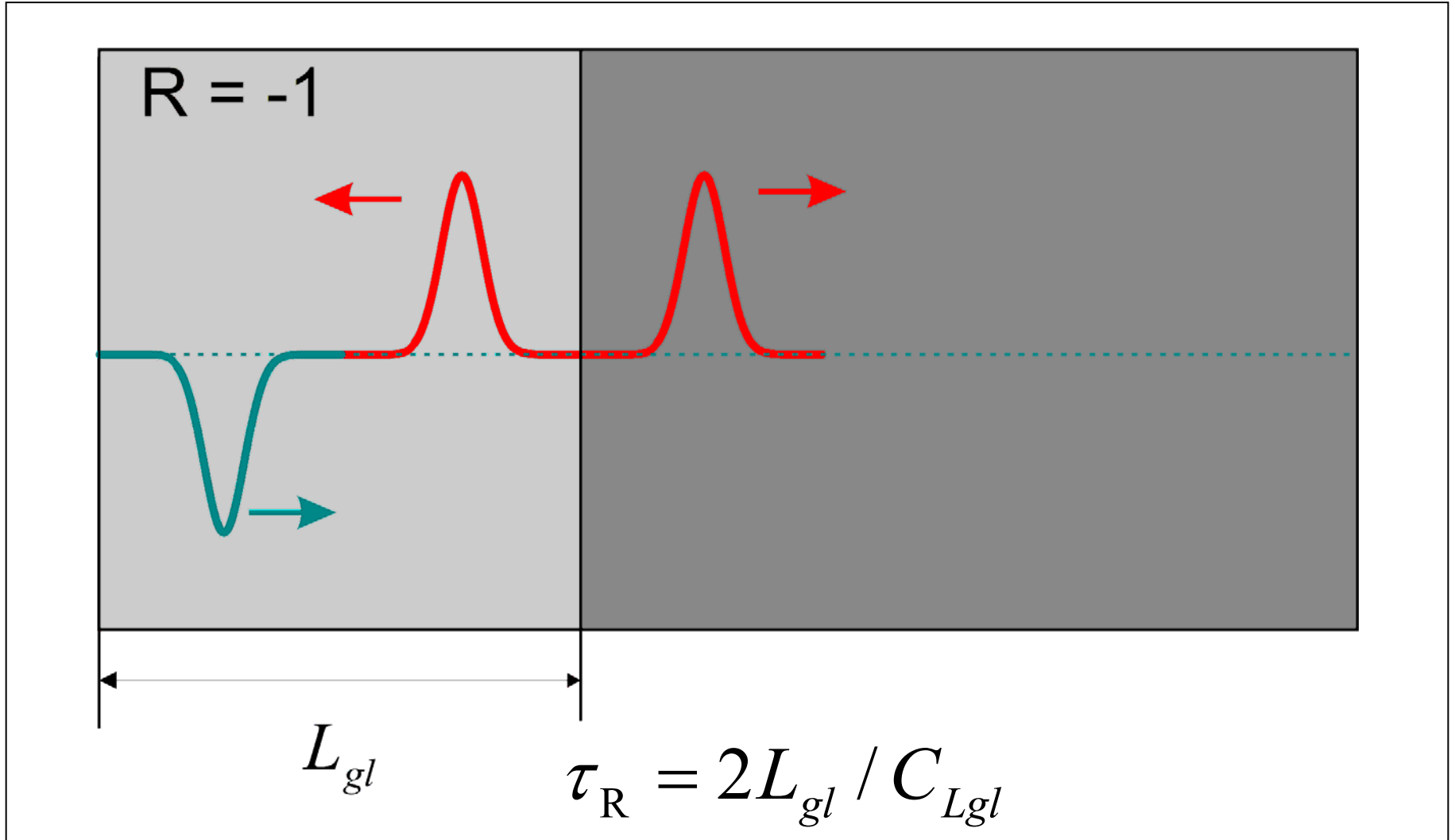


Синхронно измеряется давление **P**, температура **T**, отражательная способность **R** с наносекундным временным разрешением

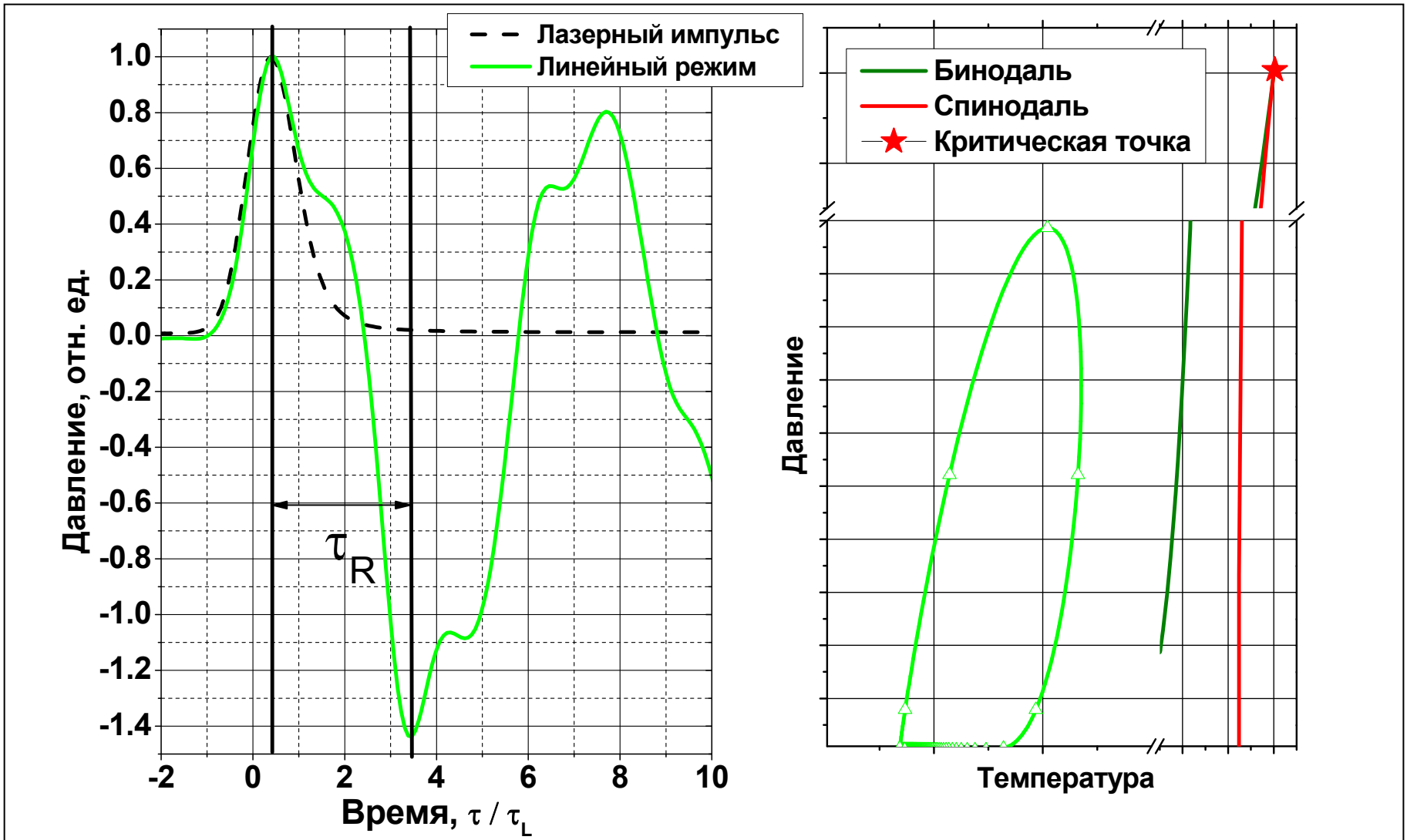
Управляемый нагрев металлов наносекундным лазерным импульсом



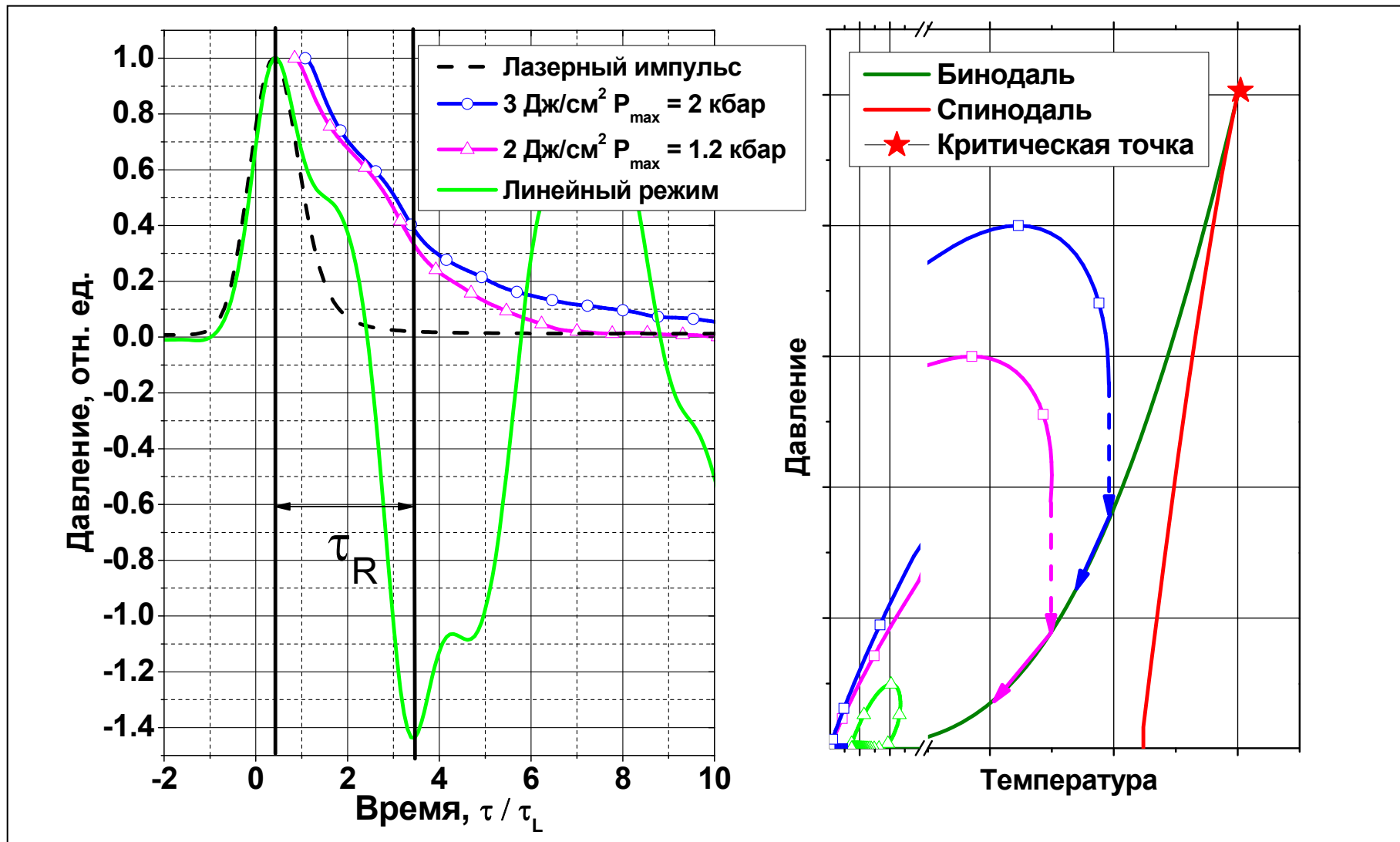
Управляемый нагрев металлов наносекундным лазерным импульсом (продолжение)



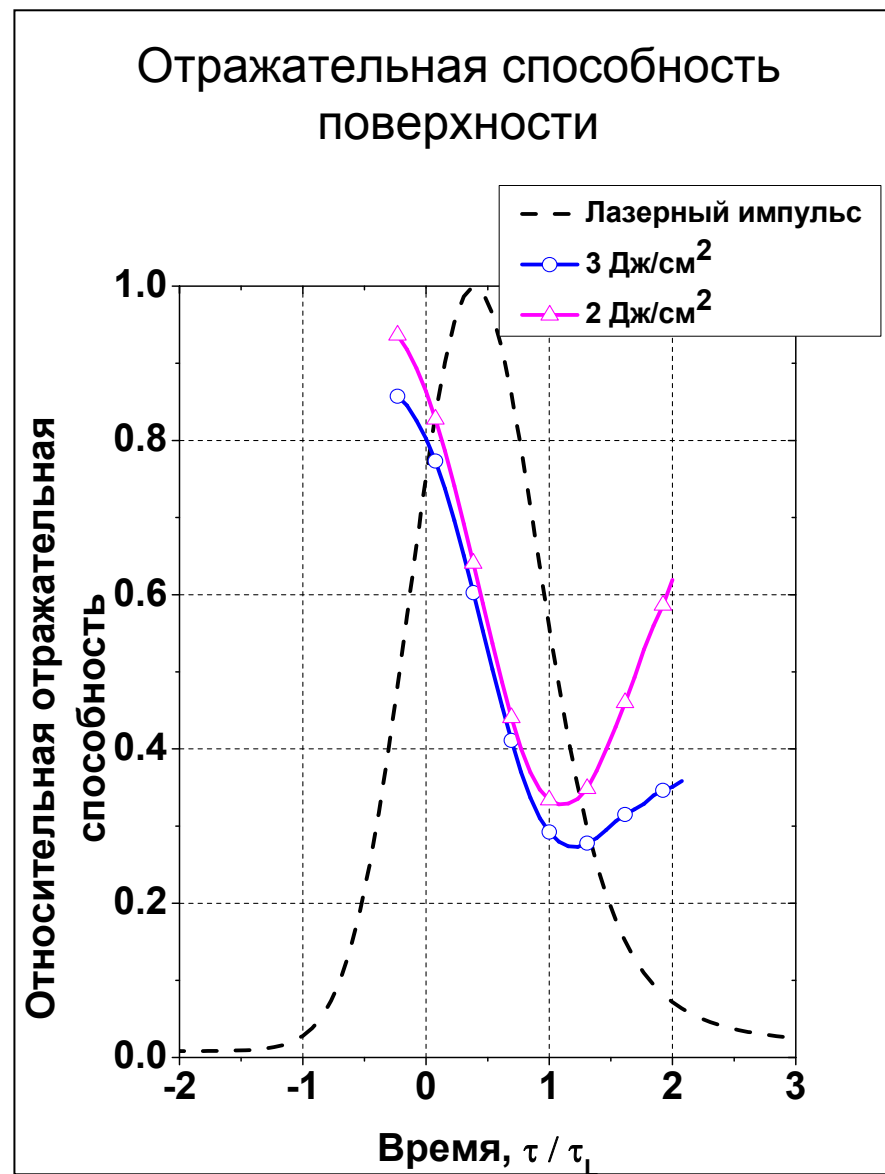
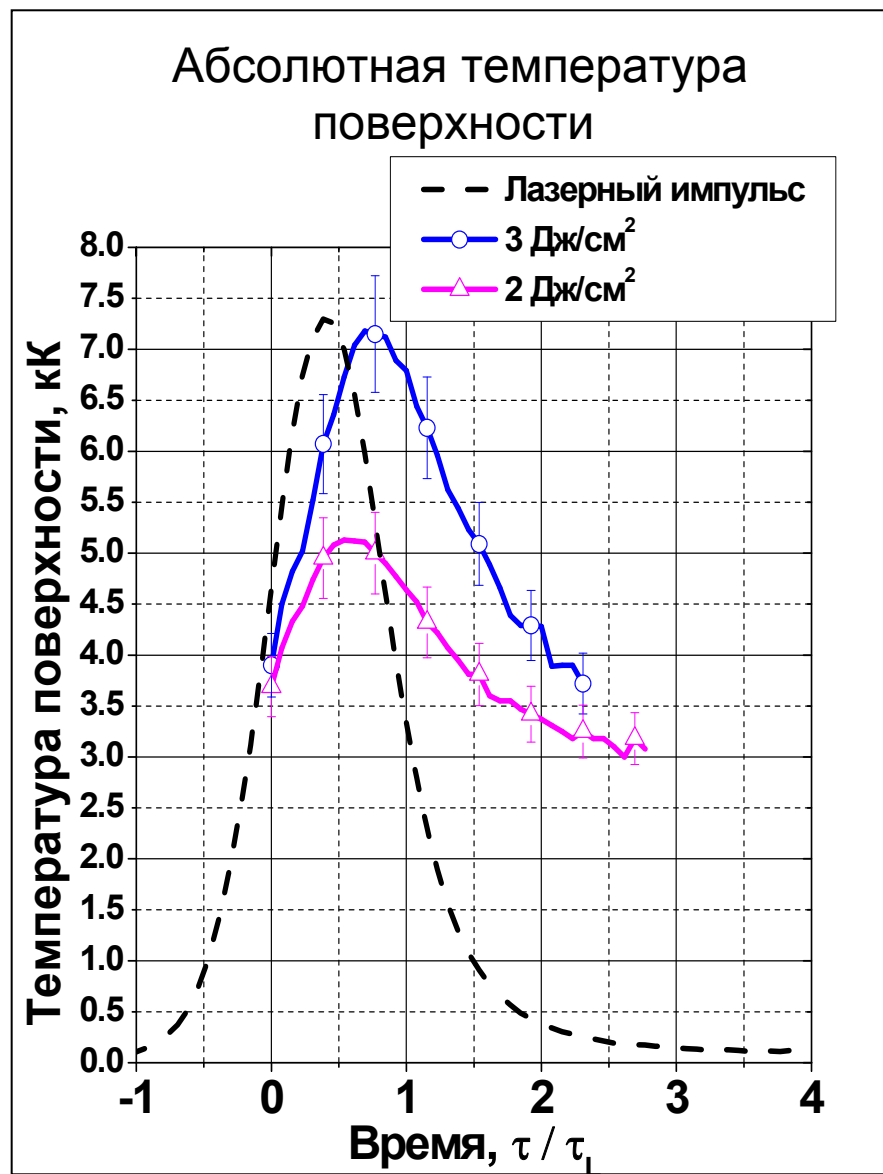
Алюминий, нагруженный полимерной плёнкой: нормированное давление



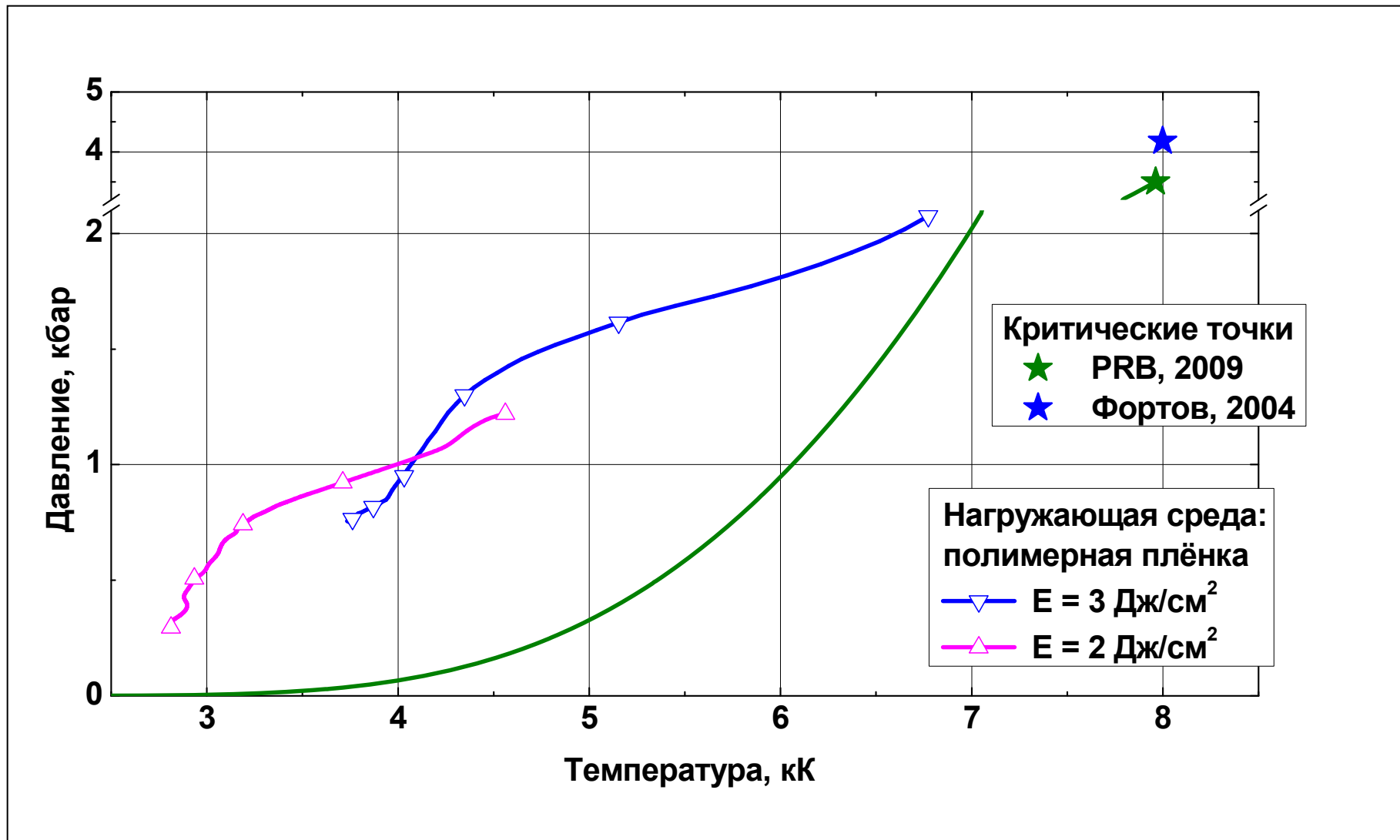
Алюминий, нагруженный полимерной плёнкой: нормированное давление



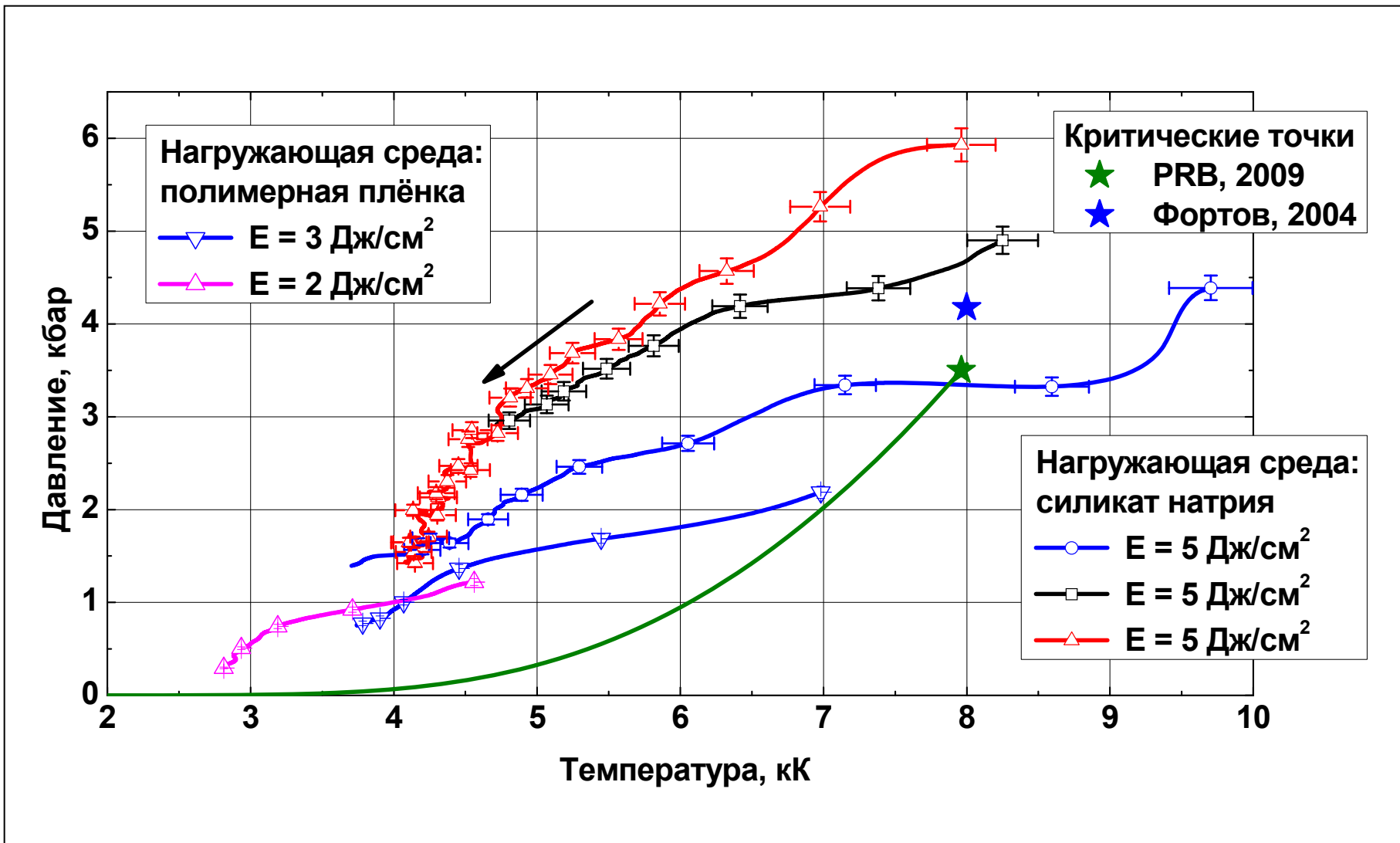
Алюминий, нагруженный полимерной плёнкой



Алюминий, нагруженный полимерной плёнкой: РТ-диаграмма



Алюминий, нагруженный плёнкой силиката натрия: РТ-диаграмма



Основные результаты работы

1. Продемонстрирована возможность управления термодинамическим циклом наносекундного лазерного нагрева с помощью механической нагрузки поверхности металла.
2. Создана экспериментальная установка настольного типа для исследования около – и сверхкритических состояний металлов, достижимых при умеренных интенсивностях падающего излучения (до 500 МВт/см², плотность энергии – до 5 Дж/см², длительность лазерного импульса ~ 10 нс), позволяющая проводить одновременные измерения давления, температуры и отражательной способности поверхности металла с наносекундным временным разрешением.

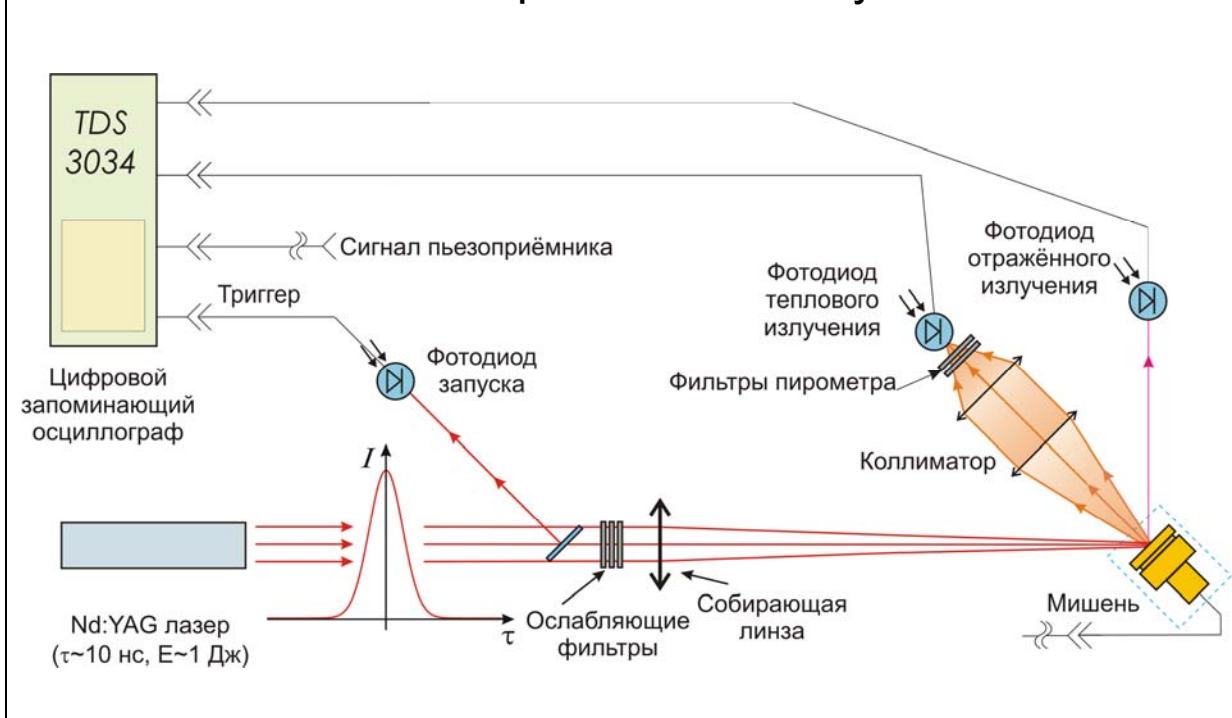
Основные результаты работы (продолжение)

3. Впервые реализована методика, позволяющая получать около – и сверхкритические состояния металлов и осуществлять управление термодинамическим циклом лазерного нагрева поверхности металлов при нагрузке металла плёнкой прозрачного диэлектрика определённой толщины. Разработанная методика была проверена на алюминии, нагруженном слоем полимера или силиката натрия. Для алюминия максимально достигнутое давление составило 6 кбар, температура – 11 кК.

Спасибо за внимание!

Методика эксперимента

Схема экспериментальной установки



Одновременное измерение давления P , температуры T , отражательной способности R с наносекундным временным разрешением

Металл:

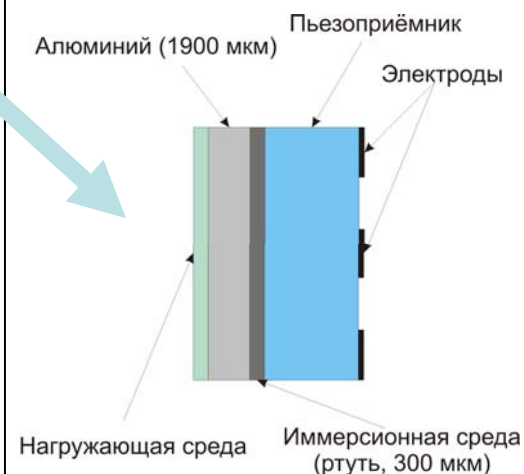
алюминий

Нагружающие среды:

Полимерная плёнка
~ 40 мкм

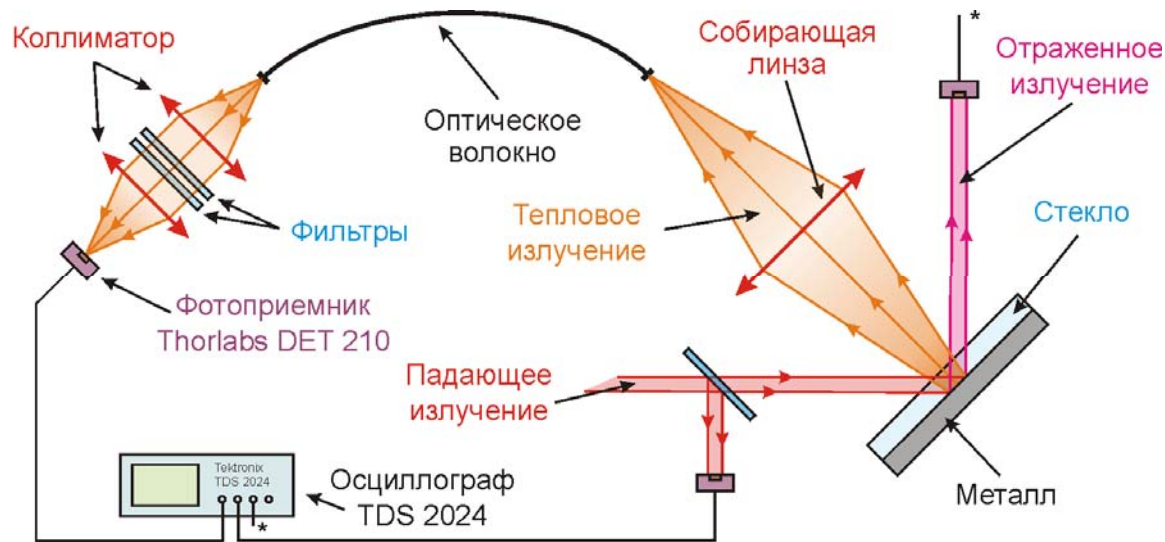
Силикат натрия
~ 60 – 200 мкм

Конструкция мишени



Наносекундный оптический пирометр

Принципиальная схема



Тепловое излучение АЧТ

$$b_0(\lambda, T) = C_1 \left(\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right)^{-1}$$

$$C_1 = 3.7413 \cdot 10^{-16} \text{ Вт/м}^2 \quad C_2 = 1.4388 \cdot 10^4 \text{ мкм} \cdot \text{К}$$

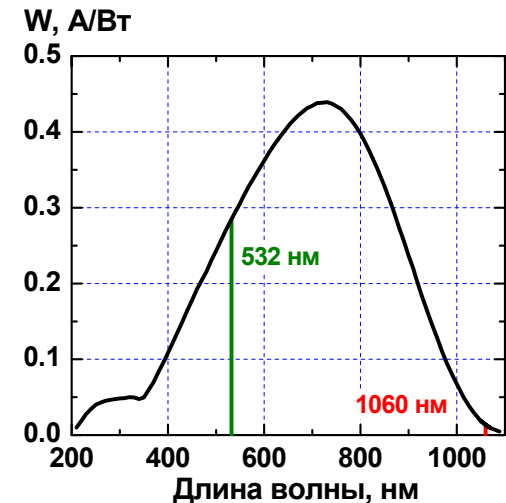
Реальные тела

$$b(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T) \cdot b_0(\lambda, T)$$

$$\varepsilon(\lambda, T) = 1 - R(\lambda, T)$$

Чувствительность

фотоприемника (DET 210)



Сигнал фотоприемника теплового излучения

$$V = R_{нагр} \iiint \varepsilon(\lambda, T) b_0(\lambda, T) K(\lambda) W(\lambda) dS \cdot \cos \theta \cdot d\Omega d\lambda$$

V - сигнал фотоприемника [В]

$K(\lambda)$ - коэф. пропускания фильтров

$R_{нагр}$ - сопротивление нагрузки [Ом]

$W(\lambda)$ - чувствительность фотоприемника

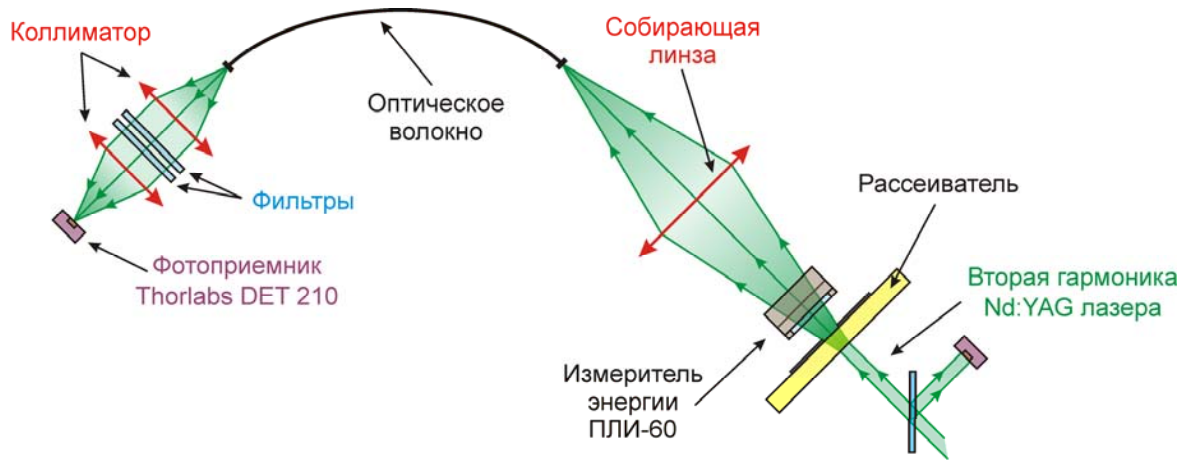
$\varepsilon(\lambda, T)$ - излучательная способность

$b_0(\lambda, T)$ - спектр. плотн. мощности излучения АЧТ

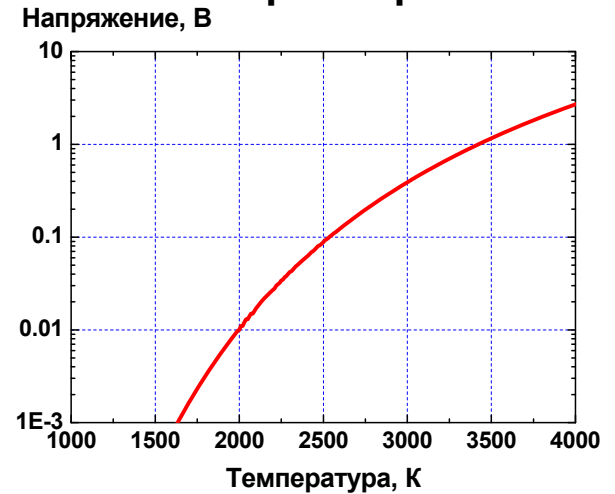
Ω - телесный угол

Методика калибровки оптического пирометра

Принципиальная схема калибровки



Чувствительность пирометра



Принцип калибровки

$$P = b(\lambda, T) \pi \Delta \lambda S$$

P - мощность лазерного излучения [Вт]

Оценка погрешности

при $T \sim 3000 \text{ K}$ $\Delta T / T \sim 3\%$

Сигнал фотоприемника в случае лазерного источника

$$U_{\max} = R_{\text{нагр}} \cdot \frac{P_{\max}}{S_{\text{лаз}} \pi} \cdot K_{\phi}(\lambda_{\text{лаз}}) \cdot K_{\text{пр}}(\lambda_{\text{лаз}}) \cdot \iint \cos \theta \cdot d\Omega ds$$

Чувствительность оптического тракта

$$T = \frac{U_{\max}}{P_{\max}} = \frac{R_{\text{нагр}}}{S_{\text{лаз}} \pi} \cdot K_{\phi}(\lambda_{\text{лаз}}) \cdot K_{\text{пр}}(\lambda_{\text{лаз}}) \iint \cos \theta d\Omega ds$$

Калибровочная кривая

$$U(t) = \frac{T \pi S_{\text{лаз}}}{K_{\phi}(\lambda_{\text{лаз}}) \cdot K_{\text{пр}}(\lambda_{\text{лаз}})} \cdot \int_0^{\infty} b(\lambda, T(t)) \cdot K_{\phi}(\lambda) \cdot K_{\text{пр}}(\lambda) d\lambda$$