

До середины 2022 не было никаких признаков внутри МО ИТЭР по смене Be на W. Более того:

Physics considerations for the ITER First Wall lifetime

R. A. Pitts¹, L. Chen¹, J. Coburn², M. Lehnen¹, A. R. Raffray¹, G. De Temmerman^{1,*},
T. Wauters¹, S. Brezinsek³, S. Ratynskaia⁴, J. Romazanov³, K. Schmid⁵,
L. Vignitchouk⁴

¹ITER Organization, Route de Vinon-sur-Verdon, CS 90 046, 13067 St. Paul Lez Durance Cedex, France
²Sandia National Laboratories, Livermore, CA, USA
³EK-4, Forschungszentrum Jülich GmbH, Partner in the Trilateral Euregio Cluster, Jülich, Germany
⁴Space and Plasma Physics - KTH Royal Institute of Technology, SE-10044, Stockholm, Sweden
⁵Max-Planck Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstrasse 2, D-85748 Garching, Germany

*Present address: Zenon Research, F-75006 Paris & France MINES ParisTech, University PSL, Institute of Higher Studies for Innovation and Entrepreneurship (IHEIE), 75006 Paris, France

The views and opinions expressed herein do not necessarily reflect those of the ITER Organization




25th PSI Conference, 14 June 2022 (Remote): paper T105
©2022, ITER Organization

IDM UID:
7TU7HA

1

Summary


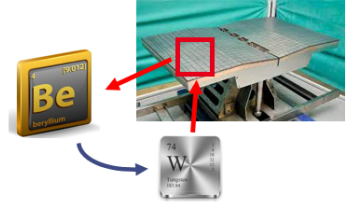

- A physics recommendation for the required number of ITER Be First Wall panel spares has been made based on the current best understanding of stationary and transient erosion and consistent with the ITER Research Plan requirement on FW lifetime
- Analysis shows clearly that:
 - As usual, the assumed SOL/divertor background for erosion-migration simulations is a critical parameter
 - A very high degree of disruption avoidance/mitigation will be required on ITER
 - Dust production and fuel inventory growth intimately linked to FW lifetime
- Recommended number of FWP spares ~13% of total → now baseline



25th PSI Conference, 14 June 2022 (Remote): paper T105
©2022, ITER Organization

IDM UID:
7TU7HA

29

ITER first wall armour change Be → W Thoughts on first wall shape design, heat loads & shape justification

R. Mitteau – June 2023

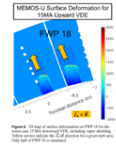
Foreword : during DT1 phase of scenario B, the proposed plan is to have the same* FW panels as today, replace simply the Beryllium (Be) tiles by tungsten (W) tiles * reduce armour tile thickness 6/8 → 3 or 4 mm- same 'external' FW contour

Here, focus on FW (shape) design & heat load – look at the "ball park" = context, orders of magnitude

Other consequences of the Be → W change are not considered here : they ought to be better addressed by other subject matter experts : Fabrication / qualification ; plasma contamination by more W than initially planned, consequences for plasma operation and operation domain (consequences on ITER research plan) ; wall conditioning and boronisation ; erosion / redeposition / T-retention ; He - W interaction on a W First Wall (blistering, fuzz, bubble formation) ; W aspects of nuclear safety and waste (incl. dust formation and management) ; Non exhaustive list of many potential consequences / benefits of Be → W (not even speaking planning, costs etc...)

Why so much difference to SCOD presented results, which tend to give a better picture

Cobrun - Nucl. Fusion 62 (2022) 016001




!!! Beryllium- era !!!

These results imply that disruptions during 5 MA, and some 7.5 MA, operating scenarios will be **acceptable** during the pre-fusion power operation phases of ITER. Preliminary analysis shows that localized melt damage for the worst-case disruption should have a **limited impact** on subsequent stationary power handling capability.

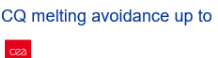

- Great and impressive calculations, multi-physics etc...
- CQ investigated, not TQ (Strangely, HNLS reports mainly radiative CQ) → more exhaustive approach w/r transients needed
- Is it a "reasonable worst case" – why this case, and not another one ?
- Presume this is disruption during plateau phase, while plasma diverted in X-point – but disruption during current ramp-up, while plasma is limited by the wall, could be more critical w/r day-to-day actual plasma operation
- Idealised geometry : no edges – no wall shaping singularity – no misalignment → Full consideration of real design needed, incl. tor. facing faces – for example IVVS cut-out for row 18 – consistence with picture top right of slide 5 ?
- These works are intended primarily at science (develop and advance scientific knowledge, demonstrate capability, extend knowledge frontiers) – Limited applicability as "supporting the design activities"

Disruption risks – Thermal loads



Alberto presentation
963KBS

CQ melting avoidance up to 11-12 MA with W wall

Даже если предположить, что будут убраны нестационарные явления - CQ/TQ, VDE, ELMs, RE, то на квазистационарной части разряда нет явных преимуществ стойкости W .
Т.к. остаётся дугообразование/искрообразование, как причина других процессов.

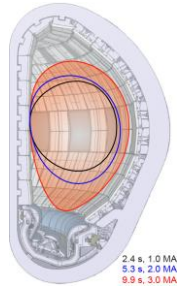
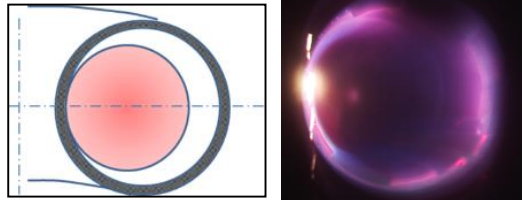
T-10, W, внутри



T-10, W, снаружи



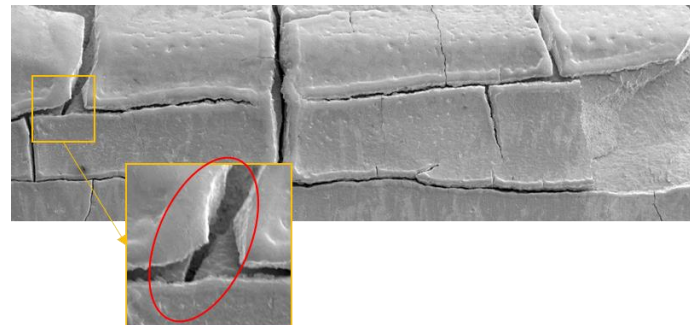
EAST (2023)



Melt motion



Рекристаллизация



Внутренняя трещина



1. Вызвана ли замена бериллия на вольфрам преимущественно соображениями инженерно-технологического удобства и безопасности обращения? **Нет**

- Бериллий в виде плиток, также как и вольфрам, является обычным конструкционным материалом.
- Оба производятся по порошковой технологии, поэтому проблемы пористости и сорбции кислорода и газов - одинаковы.
- Проблемы возникают с нанопылью, которая может сорбировать тритий. Но, вольфрам подвержен трещинообразованию, в результате которого может возникнуть напыль вольфрама.
- Горячая бериллиевая пыль может взорваться при попадании воды. Но там, где есть бериллиевое производство техника безопасности освоена. Так же и на ИТЭР - манипуляторы собирают пыль. В крайнем случае, после кампании можно работать в скафандре.
- За 15 лет проектирования и 15 лет строительства не возникали проблемы пересмотра проекта.
- Вольфрам в нейтронном потоке активируется. Такая пыль может быть опаснее бериллиевой пыли.

Проблема искусственная.

2. Все ли необходимые функции первой стенки сохраняются при замене бериллия на вольфрам без дополнительного покрытия? **Нет.**

- Основные функции первой стенки - слабое распыление на таком уровне, чтоб материал стенки не переизлучал энергию в центральных областях плазменного шнура, т.е. не гасил ТЯ реакцию, и не увеличивал Z_{eff} . Проблема теплосъёма - не выходит за рамки разумного.
- Бериллий удовлетворяет требованиям к примесям - излучает и рециклирует на периферии.
- Вольфрам поступает в центральную часть шнура, переизлучает энергию и повышает Z_{eff} .
- Сейчас количество вольфрама в ИТЭР - на пределе. Дуги и искрообразование являются дополнительным источником поступления вольфрама в разряд. Не говоря о каплях "melt motion".

Проблема дугообразования, как дополнительного источника поступления вольфрама в разряд - замалчивается ИО.

3. Есть ли физические причины, требующие замены бериллия? Нет, точнее я не знаю.

- А ещё точнее, поступление в SOL распылённых тяжёлых W атомов и их ионизация может привести к «саморазогреву» стенки ионами W.
- С.Крашенинников делал такие расчёты.

4. Избавляет ли полностью замена бериллия на вольфрам от рисков разрушения (плавления, короткого замыкания) элементов облицовки при срывах, ELMs, VDE, от накопления изотопов водорода (в первую очередь, трития)? Нет.

- При ELMs, VDE, TQ/CQ вольфрам не спасает, т.к. удельная энергия в таких нестационарных процессах превышает "Melt parameter" вольфрама в несколько раз.
- При этом расплав течёт под действием силы $J \cdot B$, перезамыкая плитки.
- Вольфрам «трещит», образует пыль, поглощающую тритий.

5. Достаточно ли имеющихся сегодня экспериментальных данных для суждения о не накоплении в центральной плазме количества вольфрама, препятствующего достижению термоядерной температуры при имеющихся мощностях нагрева? Нет

- Неправильно считается баланс частиц и энергии на стенке, т.к. принимается амбиполярный выход плазмы на стенку. И, соответственно, неправильно считается распыление вольфрама.
- До последнего момента не учитывался даже термоэмиссионный поток электронов в SOL. Не говоря о дугах, как о дополнительном источнике W .
- Если есть режимы с ненакоплением W к центру плазмы, то это уникальные режимы, которые непросто получить.

Проблема замалчивается IO..

6. Достаточно ли имеющихся сегодня экспериментальных данных для суждения о приемлемости скорости эрозии, трещинообразования, раскалывания и оплавления вольфрама для работы ИТЭРа при запланированных параметрах плазмы?

- Данных много, но они не систематизированы. Как правило, они получены в модельных экспериментах, а желательно иметь данные при токамачьеой плазме.
- Например, в возникновении трещин большое значение играют дуги, возникающие на краях трещин.

IO не вводит определённые знания в обсуждение причин эрозии стенок.

7. Возможны ли достижение плановых параметров плазмы и реализация миссии ИТЭРа при использовании вольфрама без покрытия? На мой взгляд - нет

- Поступление вольфрама в разряд может быть больше расчётной, вследствие дугообразования. А он переизлучит энергию.

8. Потребуется ли при нанесении покрытия апробированными технологиями и работе ИТЭРа на базовых режимах частое (после нескольких разрядов) обновление покрытия? Не знаю.

- Данных по эрозии покрытий очень мало.

9. Сохраняются ли в случае применения бора или его соединений в качестве покрытия все «плюсы» перехода на вольфрам? Не уверен.

- Вольфрам металл, бор и его соединения - полупроводники.
- Поверхность должна обеспечить съём ионного тока насыщения.

10. Можно ли на основе имеющихся экспериментальных данных сделать вывод о достаточности предлагаемых изменений в способах донагрева для достижения обеих целей ITER: $Q \geq 10$ индуктивных режимов и $Q \geq 5$ стационарных режимов? Нет. Возникает другая физика.

- До этого использовались методы нагрева, понятные для достижения целей.
- Сейчас исключение ИЦР из нагрева сильно ударило по программе проверки физика альфа-частиц. И нагрева непосредственно ионов.
- Введением большой мощности ЭЦР IO надеется профилировать электронную температуру и устанавливать барьеры по поступлению вольфрама в центр.

Режимы слабо изучены..

11. Следует ли ожидать в результате замены бериллия на вольфрам дополнительных осложнений, связанных с убегающими электронами? Да, следует.

- Примеси вольфрама увеличивают Z_{eff} , способствуя уходу электронов в ускорительный режим.
- Также они ухудшают устойчивость плазменного шнура, приводят к VDE, и соответственно к ускоренным электронам.

Итоговый вопрос:

Можно ли в результате полученных ответов подтвердить целесообразность замены материала облицовки первой стенки ИТЭР с Be на W с точки зрения выполнения миссии ИТЭР?

- Системный анализ может привести к выводу о нецелесообразности замены бериллия на вольфрам.

Проблема искусственная.