

УДК 537.222.4

DOI: 10.17223/00213411/62/5/118

Б.А. ЗОН

## НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ\*

Математическая теория устойчивости требует анализа временной эволюции произвольного начального возмущения системы. Однако произвольные возмущения в реальных системах возможны лишь в термодинамически неравновесных состояниях. В данной работе этот вопрос рассматривается на примере устойчивости поверхности жидкого металла в электрическом поле. Изложена соответствующая теория, отличающаяся от известной теории Лармора – Тонкса – Френкеля (ЛТФ) и экспериментально подтвержденная Серковым и др. Показано также, что учет зависимости поверхностного натяжения от радиуса кривизны поверхности в теории ЛТФ изменяет критическую напряженность электрического поля в пределах 5 %. Найдено, что зависимость критической напряженности от температуры  $T$  жидкого металла в теории ЛТФ имеет вид  $(1 - T/T_0)^{1/3}$ , тогда как для рассматриваемой в данной работе теории она практически не зависит от температуры.

**Ключевые слова:** жидкие металлы, электрогидродинамика, неустойчивость Лармора – Тонкса – Френкеля.

### Введение

Существующая математическая теория устойчивости [1, 2] предполагает анализ затухания во времени (устойчивость) или нарастания (неустойчивость) *произвольного* возмущения рассматриваемого начального состояния системы. Однако с физической точки зрения не всякое малое возмущение может реализоваться в действительности. Это связано, в частности, и с атомно-молекулярным строением вещества, которое запрещает рассматривать математически бесконечно малые возмущения реальных физических систем.

В условиях термодинамического равновесия возмущения обусловлены флуктуациями и имеют, как правило, вид гармонических волн. По этим волнам можно разложить возмущение произвольной формы. В линейном случае каждая гармоническая волна эволюционирует независимо от других волн, поэтому анализ устойчивости гармонических возмущений полностью решает всю проблему устойчивости линейных систем как в равновесном, так и в неравновесном случаях. Однако для нелинейных задач ситуация изменяется. Линейные суперпозиции гармонических волн по-прежнему описывают все возможные начальные возмущения. Но дальнейшая эволюция этих суперпозиций может существенно отличаться от эволюций отдельных слагаемых – элементарных гармонических волн. Поэтому *условия устойчивости нелинейных систем в неравновесных состояниях могут отличаться от условий устойчивости этих же систем в термодинамическом равновесии*.

Одной из целей данной работы является подробное рассмотрение сформулированного утверждения. Определение множества неравновесных состояний, для которых полезно это утверждение, очевидно: в этих состояниях отлична от нуля вероятность существования возмущения исследуемой, в общем случае, негармонической формы. Однако это определение касается своеобразной «нижней границы» значений параметров неравновесных состояний. Что же касается «верхней границы», то здесь можно указать лишь предельный случай, когда рассматриваемое утверждение заведомо теряет смысл. По аналогии с остроумным замечанием, сделанным в работе [3], посвященной анализу изменения волновой функции квантовой системы после экспериментального измерения ее параметров, термодинамически неравновесное состояние предполагается не столь критическим, как при взрыве лаборатории (like in blowing up the laboratory).

Анализ сформулированного выше утверждения проводится на конкретном примере: устойчивости жидкого металла во внешнем электрическом поле. Этот пример представляет и самостоятельный интерес, поскольку применения жидкометаллических электродов весьма разнообразны (см., напр., [4–6]). Гармоническими волнами, о которых говорилось выше, являются в данном слу-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (госзадание № 3.1761.2017/4.6).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>