

мальное l по оси ζ перпендикулярной плоскости. Только вращение вокруг ζ устойчиво. Квантово это означает $|k| = L$. Как известно, средняя энергия квантованного вращения

$$\langle H \rangle = (q+2)/4 [L(L+1) - k^2] + s k^2/2 \quad (4)$$

q, r, s обратны моментам инерции. s по оси ζ . Энергия минимальная при $|k| = L$. Классически, кварки вращаются в одной плоскости. Ось $z \parallel \zeta$.

Московский
Полиграфический институт

Поступило в редакцию
23 февраля 1967 г.

Литература

[1] Я.И.Азимов, В.В.Анисович, А.А.Ансельм и др. Письма ЖЭТФ, 2, 109, 1965.

О ВОЗБУЖДЕНИИ КОЛЕБАНИЙ ПРИ "РАСПАДНОЙ" НЕУСТОЙЧИВОСТИ УСТАНОВИВШИХСЯ ВОЛН В ПЛАЗМЕ

К.С.Карлюк, В.Н.Ораевский

Настоящая работа посвящена исследованию "распадной" неустойчивости [1,3] волн в нелинейных средах. Для определенности мы будем рассматривать волны в плазме, хотя неустойчивости такого рода могут иметь место и для волн в других нелинейных средах — в твердых телах, для капиллярных волн на поверхности жидкости и т.п.

Будет показано, что за счет распадной неустойчивости возможно появление "фиолетовых" сателлитов, нарастающих с инкрементами, пропорциональными амплитуде исходной волны. Кроме того, будет видно, что при определенных условиях "распадная" неустойчивость не возникает, несмотря на выполнение распадных условий*

$$\omega_k = \omega_{k'} + \omega_{k''}, \quad k = k' + k'' \quad (1)$$

Чтобы показать это, рассмотрим простой пример — кроме волн k' и k'' есть еще волна k''' , частота и волновой вектор которой удовлетворяют соотношениям

$$\omega_{k'''} = \omega_k + \omega_{k''}, \quad k''' = k + k'' \quad (2)$$

Кроме того, фазы всех волн будем считать скоррелированными.

Как известно [2], в первом порядке теории возмущений (по амплитудам волн) временная эволюция амплитуд волн C_i описывается уравнениями

$$\frac{\partial C_{k'}}{\partial t} = -i V_{k'kk''} C_k C_{k''},$$

$$\frac{\partial C_{k''}}{\partial t} = -i V_{k''_k k'} C_k C_{k'} - i V_{k''_k k'''} C_k C_{k'''} \quad (3)$$

$$\frac{\partial C_{k''''}}{\partial t} = -i V_{k''''_k k''} C_k C_{k''},$$

где конкретный вид матричных элементов V_{lmn} , описывающих взаимодействие рассматриваемых волн, для дальнейшего рассмотрения не существенен. Пренебрегая зависимостью $C_k^{(0)}$ от времени, приходим к системе линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, так что решение можно искать в виде $e^{\nu t}$. Характеристическое уравнение для определения ν в данном случае имеет вид

$$\nu^2 = -|C_k^{(0)}|^2 V_{k''_k k'''} V_{k''_k k'} - |C_k^{(0)}|^2 V_{k''''_k k''} V_{k''_k k''}. \quad (4)$$

Видно, что результирующая поправка к собственной частоте имеет вид

$$\nu^2 = \nu_{1,2}^2 + \nu_{2,3}^2, \quad (5)$$

где $\nu_{1,2}$ — поправка к собственной частоте, которая получалась бы, если бы не было связи волн k'' и k''' , а $\nu_{2,3}$ — если бы не было связи волн k' и k'' .

Из (5) видно, что наличие связи с третьей волной может приводить как к уменьшению неустойчивости (в случае, когда $\nu_{1,2}^2$ и $\nu_{2,3}^2$ разных знаков) и даже полной стабилизации, так и к увеличению неустойчивости (когда $\nu_{1,2}^2 < 0$, $\nu_{2,3}^2 < 0$). Это может иметь место, например, в точках бифуркации волн k' и k'' .

Интересно отметить, что в указанном выше процессе одна из возбуждаемых волн может иметь частоту, большую частоты исходной распадающейся волны, хотя при распаде на две волны это, как известно, невозможно. Такой распад с "фиолетовым" сателлитом возможен, если в (5) $\nu_{1,2}^2 < 0$, $\nu_{2,3}^2 > 0$ и $|\nu_{1,2}^2| > |\nu_{2,3}^2|$ (волновой вектор "фиолетового" сателлита k'''')*.

В заключение рассмотрим конкретный случай — распад альфвеновской волны. В системе координат, где ось X направлена по H_0 , а ось Z перпендикулярна плоскости векторов k_0 и H_0 , приближенные значения ν^2 для распадов на различные пары волн следующие:

$$\begin{aligned} \omega_1^2 = k_1^2 V_A^2, \omega_2^2 = k_{2x}^2 S^2, \nu^2 = \frac{\delta V^2 V_A^2 k_{2x}^2 k_{1z}^2 k_{0x} k_{2x} (k_{11}^2 + k_{1x} k_{2x})}{16 \omega_1 \omega_2 k_{11}^2 k_2^2}, \\ \omega_1^2 = k_{1x}^2 S^2, \omega_2^2 = k_{2x}^2 V_A^2, \nu^2 = -\frac{\delta V^2 V_A^2 k_{1x}^2 k_{1z}^2 k_{0x} k_{1x} (k_{21}^2 + k_{1x} k_{2x})}{16 \omega_1 \omega_2 k_1^2 k_{21}^2}, \\ \omega_1^2 = k_{1x}^2 V_A^2, \omega_2^2 = k_{2x}^2 S^2, \nu^2 = \frac{\delta V^2 V_A^2 k_{2x}^4 k_{1y}^2 k_{0x} k_{1x}}{16 \omega_1 \omega_2 k_{11}^2 k_2^2}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\omega_1^2 = k_{1x}^2 S^2, \quad \omega_2^2 = k_{2x}^2 V_A^2, \quad \nu^2 = - \frac{\delta V^2}{16} \frac{V_A^2}{\omega_1 \omega_2} \frac{k_{1x}^4 k_{2y}^2 k_{0x} k_{2x}}{k_{1z}^2 k_{2z}^2}.$$

Здесь $k_2 = k_0 + k_1$, $\omega_2 = \omega_0 + \omega_1$, S – скорость звука, V_A – альфвеновская скорость, δV относится к исходной волне. Используя (5) и (6), можно записать значения ν^2 для различных троек волн. Покажем, например, что распад альфвеновской волны на быструю и медленную звуковые волны может быть стабилизирован альфвеновской волной:

$$\omega_1 = k_1 V_A, \quad \omega_2 = k_{2x} S, \quad \omega_3 = -k_{3x} V_A, \quad k_2 = k_1 + k_0, \quad k_3 = k_2 + k_0,$$

$$\omega_2 = \omega_1 + \omega_0, \quad \omega_3 = \omega_2 + \omega_0,$$

(7)

$$\nu^2 = \frac{\delta V^2}{16} \frac{V_A}{S} \frac{k_{2x}^2}{k_{1z}} \left\{ \frac{k_{1z}^2 (k_{1z} - k_{1x})}{k_1} - \frac{k_{1z}^2}{k_{3z}^2} k_{3y}^2 \right\} \frac{k_{0x}}{k_2^2}.$$

Второе слагаемое в (7) описывает распад альфвеновской волны на медленный и быстрый звук. Видно, что если $k_{1z} > k_{1x}$, и первое слагаемое по модулю больше второго, то этот распад будет подавлен альфвеновской волной.

Киевский
государственный университет
им. Т.Г.Шевченко

Поступило в редакцию
28 февраля 1967 г.

Литература

- [1] В.Н.Ораевский, Р.З.Сагдеев. ЖТФ, 32, 1291, 1962.
- [2] А.А.Галеев, В.И.Карпман. ЖЭТФ, 44, 592, 1963.
- [3] В.Н.Ораевский. Ядерный синтез, 4, 263, 1964.
- [4] В.Д.Федорченко, В.И.Муратов, Б.Н.Руткевич. Ядерный синтез, 4, 300, 1964.

* И несмотря на отличие от нуля энергии взаимодействия соответствующих волн.

** "Фиолетовые" сателлиты часто появляются в экспериментах по распространению волн не малой амплитуды в плазме. См., например, [4].