и Тиеном [31], которые использовали метод Кавагути [32]. Обзор этих работ был дан Броунштейном и Фишбейном [33]. Во всех случаях решение уравнения Навье — Стокса показало наличие в дисперсной фазе при $\mathrm{Re} \geqslant 1$ циркуляционных токов.

Экспериментальное подтверждение существования циркуляции внутри движущейся капли было впервые получено Бондом и Ньютоном [34], которые установили, что циркуляция возникает в каплях диаметром

$$d_к > 2\left(\frac{\sigma_м}{\Delta\rho g}\right)^{0,5} \qquad (11.31)$$

В дальнейшем циркуляция в каплях наблюдалась визуально и изучалась методом шлирен-фотографии многими исследователями [22, 35—38]. Кинтнер с сотрудниками разработал специальную методику изучения скорости циркуляции в каплях [39] и получил хорошее совпадение измеренных величин с результатами расчета по Адамару и Рыбчинскому [40].

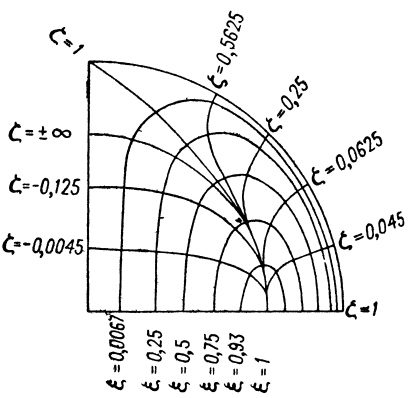

Рис. 11.2. Система координат по Кронигу и Бринку.

Особый интерес представляет работа Хартье [41], который измерил расстояние между центром капли и центром циркуляционного тороида. Измерения показали, что это расстояние равно 0,71 $R_к$, что полностью соответствует величине, предсказанной Адамаром. По данным Хартье циркуляционные токи возникают уже в период образования капли и наблюдаются при времени образования капли $< 1{,}5$ с.

Физическая модель массопередачи, учитывающая наличие циркуляции, была разработана Кронигом и Бринком [42]. Для решения уравнения диффузии они использовали систему координат, изображенную на рис. 11.2. Одно семейство координатных линий выбирается так, чтобы оно с точностью до постоянного множителя совпадало с линиями тока Ψ-const, а второе семейство координатных линий ортогонально первому:

$$\xi = 4\bar{r}^2(1-\bar{r}^2)\sin^2\theta \qquad (11.32)$$

$$\zeta = \frac{\bar{r}^4\cos^4\theta}{2\bar{r}^2-1} \qquad (11.33)$$

Уравнение диффузии было выведено Кронигом и Бринком при допущении о постоянстве концентрации вдоль линии тока и чисто диффузионном механизме переноса между линиями тока. Уравнение нестационарной диффузии при этом имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial\xi}\left[p(\xi)\frac{\partial x(\xi, t)}{\partial\xi}\right] = \frac{R_к^2}{16D_д}\, q(\xi)\frac{\partial x(\xi, t)}{\partial t} \qquad (11.34)$$

где $p(\xi)$ и $q(\xi)$ — функции эллиптических интегралов [6].