

С. П. ДЬЯКОВ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНЫХ ВОЛН С ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМИ И СЛАБЫМИ РАЗРЫВАМИ

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 15 IX 1954)

В литературе рассматривались отдельные случаи взаимодействия ударных волн с тангенциальными и слабыми разрывами; однако полной классификации возможных конфигураций в рамках плоской стационарной задачи не было дано. Настоящая заметка посвящена такой классификации.

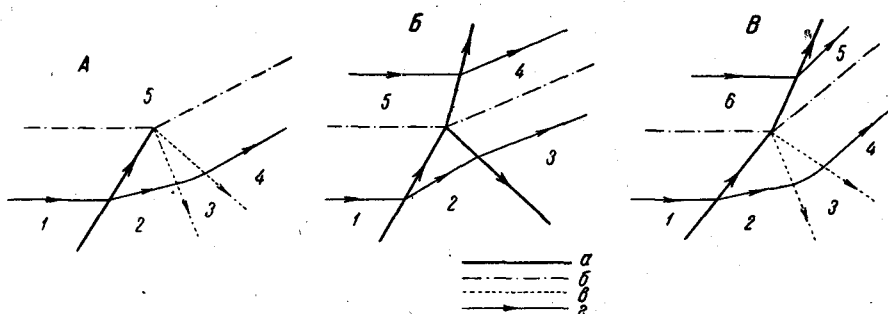


Рис. 1. а — ударная волна, б — тангенциальный разрыв, в — слабый разрыв, г — линия тока

Говоря о взаимодействии ударных волн с тангенциальными разрывами, следует иметь в виду, что тангенциальные разрывы неустойчивы (^{1,2}); реальный тангенциальный разрыв представляет собой в действительности область турбулентного движения конечной толщины. Поэтому говорить о тангенциальном разрыве имеет смысл лишь тогда, когда мы интересуемся течением в масштабах, значительно превышающих толщину турбулентного слоя. В этом случае можно пренебречь толщиной турбулентного слоя и рассматривать тангенциальный разрыв как геометрическую поверхность. В дальнейшем мы будем говорить о взаимодействиях с участием тангенциальных разрывов именно в этом смысле.

Перечислим конфигурации, которые могут возникнуть при взаимодействии ударной волны с тангенциальным разрывом.

1. Пересечение ударной волны с тангенциальным разрывом, по другую сторону которого вещество покоится (^{1,3}), изображено на рис. 1 А (область 5 — неподвижное вещество). Так как давления в областях 1 и 4 должны быть одинаковы и равны давлению в области 5, то ударная волна должна отразиться в виде волны разрежения

(область 3), приводящей давление к первоначальному значению. Тангенциальный разрыв терпит в точке пересечения излом.

2. Пересечение ударной волны с тангенциальным разрывом, по другую сторону которого течение дозвуковое, вообще невозможно. Действительно, в дозвуковую область не могут проникнуть ни ударная волна, ни волна разрежения; поэтому в двузвучовой области может быть лишь тривиальное течение с постоянной скоростью, а тангенциальный разрыв не может иметь излома типа, изображенного на рис. 1 А. Отражение ударной волны в виде волны разрежения невозможно, так как это неизбежно вызовет излом тангенциального разрыва; отражение в виде ударной волны также невозможно, поскольку при этом нельзя удовлетворить условию равенства давлений на тангенциальном разрыве.

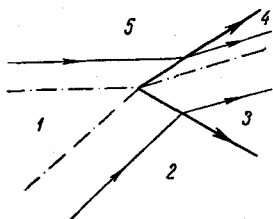


Рис. 2. Обозначения те же, что на рис. 1

3. Если течение по обе стороны тангенциального разрыва сверхзвуковое, возможна конфигурация, изображенная на рис. 1 Б. Ударная волна частично отражается, частично проходит через тангенциальный разрыв; тангенциальный разрыв терпит излом. Такого типа конфигурация наблюдается, в частности, при отражении ударной волны от границы раздела с более плотной в акустическом отношении средой (4).

4. Другая возможная при сверхзвуковом течении конфигурация изображена на рис. 1 В. В результате такого взаимодействия возникают отраженная волна разрежения (область 3) и прошедшая в другую среду ударная волна. Тангенциальный разрыв, как и в предыдущем случае, терпит излом.

Следует сказать, что конфигурации, изображенные на рис. 1 Б и В, возможны лишь в определенных областях значений параметров, описывающих падающую ударную волну и тангенциальный разрыв. Если значения параметров лежат вне этих областей, конфигурации геометрически невозможны, и ударная волна перед пересечением должна претерпеть разветвление.

5. Отметим здесь еще конфигурацию без участия проходящих ударных волн (см. рис. 2) — взаимодействие двух тангенциальных разрывов, между которыми находится область покоящегося вещества (область 1). В результате возникают две ударные волны с тангенциальным разрывом между ними. Эта конфигурация возможна лишь при сверхзвуковом течении в областях 2 и 5.

Рассмотрим теперь взаимодействия ударной волны со слабыми и слабыми тангенциальными разрывами. Первые представляют собой слабые особенности в распределении давления и скорости, распространяющиеся вдоль звуковых характеристик; вторые суть слабые особенности в распределении энтропии и ротора скорости, распространяющиеся вдоль линий тока.

1. Рассматривая взаимодействие ударной волны со слабым разрывом, падающим из области течения перед ударной волной, необходимо различать два случая (1).

В первом случае, когда течение за ударной волной сверхзвуковое, слабый разрыв «проходит» через ударную волну, и, кроме того, за ударной волной возникает еще слабый тангенциальный разрыв (рис. 3 А). Особенности на уходящих слабых разрывах и особенность формы ударной волны в окрестности точки пересечения — того же типа, что и особенность на падающем слабом разрыве.

2. В другом случае, когда течение за ударной волной дозвуковое, слабый разрыв не может проникнуть в дозвуковую область; за ударной волной возникнет лишь слабый тангенциальный разрыв (рис. 3 Б).

Характер особенности слабого тангенциального разрыва и формы ударной волны в окрестности точки пересечения будут совсем иного типа. Так, если падающий слабый разрыв представляет собой разрыв производных гидродинамических величин, уходящий слабый тангенциальный разрыв и форма ударной волны в окрестности точки пересечения будут

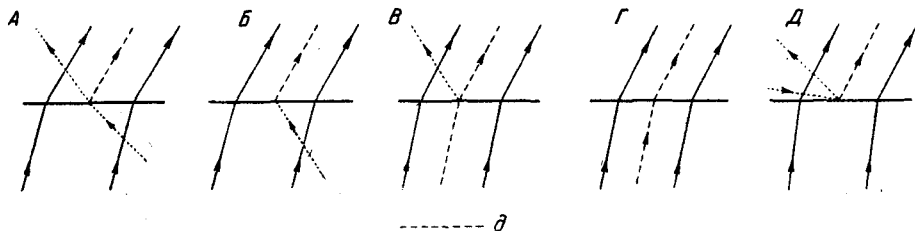


Рис. 3. слабый тангенциальный разрыв. Остальные обозначения те же, что на рис. 1

обладать, как можно показать, своеобразной логарифмической особенностью. Логарифмической особенностью будет обладать также распределение давления за ударной волной в окрестности точки пересечения.

3. Все сказанное относительно взаимодействия ударной волны со слабым разрывом справедливо и для случая взаимодействия со слабым тангенциальным разрывом. Если течение за ударной волной сверхзвуковое, в результате взаимодействия образуются слабый и слабый тангенциальный разрывы (рис. 3 В).

4. При аналогичном взаимодействии в случае дозвукового течения за ударной волной возникает лишь слабый тангенциальный разрыв (рис. 3 Г).

5. При сверхзвуковом движении за ударной волной возможна еще одна конфигурация, изображенная на рис. 3 Д, при которой слабый разрыв падает из области течения за ударной волной и отражается в виде слабого и слабого тангенциального разрывов.

Упомянем здесь еще о взаимодействии слабых разрывов с тангенциальным.

1. Если течение по обе стороны тангенциального разрыва сверхзвуковое, падающий слабый разрыв частично отражается, частично проходит через тангенциальный разрыв (рис. 4 А).

2. Если течение по другую сторону тангенциального разрыва дозвуковое, слабый разрыв не может проникнуть в дозвуковую область; происходит «полное внутреннее отражение» слабого разрыва (рис. 4 Б).

Автор признателен акад. Л. Д. Ландау за ценные дискуссии.

Институт физических проблем
им. С. И. Вавилова
Академии наук СССР

Поступило
11 IX 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Механика сплошных сред, М., 1953, § 30, 102. ² С. И. Сыроватский, ЖЭТФ, 27, 121 (1954). ³ Р. Курант, К. Фридрихс, Сверхзвуковое течение и ударные волны, М., 1950, § 148. ⁴ А. Тамб, Phys. Rev., 72, 51 (1947).