Описание взрыва метеорита в воздухе как следствия отражения звуковых волн

Якубовский Е.Г.
e-mail yakubovski@rambler.ru

При входе метеорита в верхние слои атмосферы, при выстреле электромагнитной пушки, при разряде молнии наблюдается вспышка с образованием плазмы и выделением энергии. С точки зрения твердого тела эти процессы описаны в [1]. Опишем эти процессы с единой точки зрения на ударные и звуковые волны.

При движении тела с малым значением $\rho_u u$, при малой плотности и большой групповой скорости тела, в среде с большим ρc наблюдается большой коэффициент отражения $R = \dfrac{\rho c - \rho_u u}{\rho c + \rho_u u}$ и малый коэффициент прохождения $T = \dfrac{2\rho_u u}{\rho c + \rho_u u}$. Скорость тела соответствует групповой скорости звуковых волн. Когда импедансы сравниваются, коэффициент отражения равен нулю, а прохождения равен единице. При этом плотность энергии для разных сред отличается $E = |\rho_u u^2 - \rho c^2| V$ и энергия начинает интенсивно распространяться по среде в виде ударной волны и волны излучения электромагнитной энергии. В случае падения метеорита плотность равна $\rho_u = \alpha \dfrac{p\mu}{RT} + (1-\alpha)\rho_m; \rho = \dfrac{p\mu}{RT_0}, T > T_0, \rho_u < \rho$ и следовательно расходуется энергия метеорита $\rho_u u^2 - \rho c^2 > 0$ и эта энергия выделяется при коэффициенте отражения, равном нулю. Коэффициент α определяется массой воздуха, увлеченной метеоритом. Эта энергия равна разности плотности энергии, умноженной на захваченный объем нагреваемого воздуха и зависит от температуры захваченного объема воздуха. При этом она продолжает выделяться, пока масса метеорита не уменьшится до минимальных размеров. Это будет очень быстрый процесс. Вообще то энергия начнет выделяться при разности плотности энергии, но интенсивный перенос энергии в направлении земли начнется при увеличении амплитуды звуковой проходящей волны до ударной волны и связанной с этим электромагнитного излучения, причем процесс произойдет в области, где коэффициенте отражения, равен нулю. По мере распространения звуковой волны, на определенном пройденном расстоянии она образует ударную волну слабой интенсивности.

Из решения задачи гидродинамики при описании турбулентных процессов для вклада мнимой части в действительное значение используется формула для безразмерных величин

$$Z = \sqrt{(\operatorname{Re} z)^2 + |\operatorname{Im} z| / sh}$$

Где мнимая часть делится на величину обратную отношению высоты шероховатости к диаметру трубопровода. Это приводит к асимптотике формулы при больших числах Рейнольдса. При средних числах Рейнольдса формула другая. Описание вклада мнимой части в действительную см. [3]. Используем эту формулу для перехода от комплексных значений параметра к действительным. Будем обозначать такую формулу символом $\Re(z) = \sqrt{(\operatorname{Re} z)^2 + |\operatorname{Im} z| / sh}$. За степень шероховатости квантовой системы примем величину $sh = 50$.

Звуковая волна при этом должна иметь интенсивность, большую, чем критическая величина $u = c_s \Re(\frac{\sqrt{15\gamma^2 - 2\gamma - 1}}{\gamma + 1}) = u_{cr}$. Этот процесс описан в [2], раздел 1.1. Звуковая волна с большей амплитудой, чем критическая, по мере распространения становится комплексной ударной волной с резким фронтом. Тогда при выполнении условии $\frac{u_{cr}}{c_S} = \Re(\frac{\sqrt{15\gamma^2 - 2\gamma - 1}}{\gamma + 1}) > \Re(1 - \sqrt{\frac{2}{\gamma + 1}}) = \frac{u}{c_S}$ наблюдается звуковая волна. При противоположном условии, рано или поздно начнется ударная волна малой интенсивности. Определение массовой скорости звука см. главу 4 из [2]. Из решения задачи относительно определения коэффициента γ получаем следующую формулу $\gamma = \Re[\dfrac{1}{\dfrac{l}{2(l+2)} \mp i\sqrt{\dfrac{2m^2\nu\omega}{(l+2)\mu^2 c_s^2} - \dfrac{l^2}{4(l+2)^2}}}]$ см. главу 4 из [2].

Существует расстояние, на котором устанавливается ударная волна малой интенсивности. Имеем

$$\frac{u_{cr}}{c_s} = \Re[\sqrt{\frac{15\gamma^2 - 2\gamma - 1}{(\gamma+1)^2}}]$$

$$\frac{u}{c_s} = |1 - \sqrt{\frac{2}{\gamma+1}}| \ .$$

Формулу для массовой скорости см. [2] глава 4 формула (4.1). Существует критерий образования из звуковой волны ударной волны малой интенсивности $\dfrac{u}{c_s} > \dfrac{u_{cr}}{c_s}$. При невыполнении этого критерия ударная волна слабой интенсивности не образуется. При этом если просто использовать действительную часть, то получим формулу $\gamma = \dfrac{l\mu^2 c_s^2}{4m^2\nu\omega}$, описывающая среднее значение величины. Мнимая часть описывает среднеквадратичное отклонение, или колебание с амплитудой, равной мнимой части. Причем при условии $l = 20$ имеем $\gamma = \dfrac{l\mu^2 c_s^2}{4m^2\nu\omega} < \dfrac{\beta(l,sh)}{1+\alpha(l)/sh} = \dfrac{0.335}{1+3.42/sh}; \alpha(20) = 3.42, \beta(20,\infty) = 0.335$, т.е. на достаточно высокой частоте, происходит переход из звуковой волны в ударную малой интенсивности до граничной низкой частоты. Эти величины получены из численного эксперимента. При использовании формулы с символом $\Re$ коэффициенты $\alpha(l), \beta(l,sh)$ этой формулы изменятся и будут зависеть от значения количества степеней свободы l и степени шероховатости sh. Но при малом значении степеней свободы $\beta(3,\infty) = 0.3337$ корень нелинейного уравнения достигается при условии безразмерной частоты, меньше единицы, что выходит за границы применимости формул. Кроме того, при степени шероховатости, равной $sh = 50$ в границах применимости формулы скорость больше критической и значит всегда происходит переход из звуковой волны в ударную малой интенсивности. Нелинейное уравнение по равенству критической скорости массовой скорости имеет решение при значении безразмерной частоты меньше 1. При безразмерной скорости меньше единицы исследование не проводилось. В любом случае существует низкая частота, когда звуковая волна не переходит в ударную волну малой интенсивности, описываемую уравнением $\Delta p = \rho_1 c_1 \Delta a_1 \frac{4\gamma}{\gamma + 1}$, где массовая скорость и давление комплексные, а переходит в ударную волну с большой амплитудой скорости и действительными параметрами волны.

В случае электромагнитной пушки в начале процесса плотность снаряда велика, а скорость мала. Она достигнет скорости, когда коэффициент отражения равен нулю, начнется интенсивное выделение энергии из воздуха, образуется плазма и выхлоп при вылете снаряда из пушки.

В случае молнии плотность облаков больше плотности воздуха, скорость облаков мала и начинается при равном нулю коэффициенте отражения выделение энергии, пока плотность не упадет. Имеется разряд как на землю, так и в космическое пространство.

В изложении я сделал экстраполяцию импеданса у твердого тела. Обосновывается она следующим образом. Для твердого анизотропного тела со связью деформации и напряжения $\sigma_{ik} = \lambda_{ikmn} u_{nm}$ я построил преобразование координат, в котором анизотропное пространство сводится к изотропному. Это же преобразование изотропное пространство переводит в изотропное. Для анизотропного и изотропного пространства получается единое изотропное пространство с разными изотропными скоростями звука. Скорость массивного тела относительно непрерывной среды является инвариантом. Носителем возмущения при этом является фазовая скорость звука и относительная скорость тела. Они же являются инвариантами. Они соответствуют двум скоростям в неподвижной ударной волне, инвариантным скоростям до фронта и после фронта ударной волны. Они инвариантны относительно скорости фронта ударной волны при преобразовании Галилея. Причем согласно главе 4 из [2] фазовые скорости при неподвижном фронте удовлетворяют условию $c_{F1}=\sqrt{\frac{\gamma+1}{2}}u_1, c_{F2}=\sqrt{\frac{\gamma+1}{2}}u_2; \gamma=\frac{c_p}{c_v}$. Причем эти две фазовые скорости соответствуют меньшая групповой и большая фазовой скорости. Так же, как и скорость тела соответствует групповой скорости волны, и имеется фазовая скорость для ударной волны малой интенсивности. Но это соотношение не для неподвижного фронта ударной волны малой интенсивности. Для неподвижного фронта ударной волны малой интенсивности в случае звуковой волны имеется нулевая групповая скорость и бесконечная фазовая скорость, но их произведение конечно.

Литература

1. Брагинский А. Я. ОПИСАНИЕ ВЗРЫВА КАК ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА, ИНДУЦИРОВАННОГО КРИТИЧЕСКИМ УСКОРЕНИЕМ ВОЗДУХА. www.researchgate.net
2. Якубовский Е.Г. Новые области использования звуковых волн в физических процессах. «Энциклопедический фонд России», 2018, 129стр. http://russika.ru/userfiles/390_1531979121.pdf
3. Якубовский Е.Г. Исследование решения уравнения Навье – Стокса II. «Энциклопедический фонд России», 2017, 64 стр. http://russika.ru/userfiles/390_1525989389.pdf