

МФТИ

Вопрос по выбору

Кумулятивный эффект в жидкости.
Падение капли в воду.

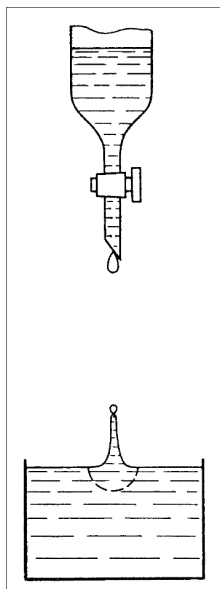
Выполнили:
Манро Эйден
(Б01-308)
Солодилов Михаил
(Б01-307)

Введение

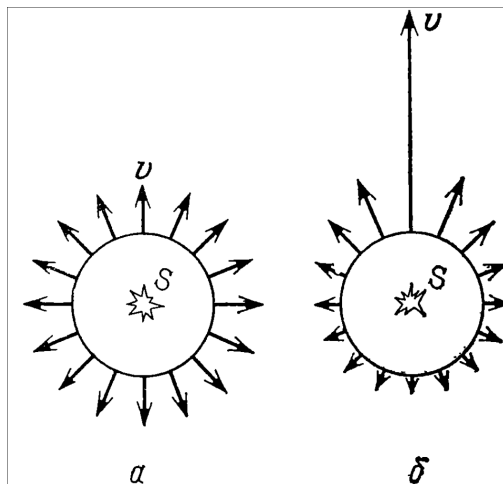
Цель работы: исследовать явление появления кумулятивной струи при падении капли воды в воду. Исследование зависимости параметров струи от параметров сосуда и высоты падения капли.

Оборудование: сосуд с водой, линейка, штатив, (что-то капающее)

Кумулятивный эффект, эффект Манро (англ. Munroe effect) – явление концентрации энергии в одном направлении или в определённом месте.



Установка



а – сферически-симметричный взрыв.

б – энергия взрыва сконцентрирована в одном направлении.

Обычно о нём говорят в очень быстро происходящих процессах, например, взрывах, но его также можно встретить и в повседневной жизни. Когда морские волны врезаются в берег, возникает вертикальная кумулятивная струя. В этой работе мы будем исследовать появление такой струи при падении капли в воду.

Теория

Весь процесс падения капли можно разделить на 3 этапа:

1. Падение капли.
2. Образование полусферического углубления в жидкости.
3. Схлопывание углубления и появление кумулятивной струи.

Энергия падения капли выражается следующим образом:

$$E_k = mgh = \frac{mv^2}{2} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho gh,$$

где r – радиус капли, h – высота её падения. Во время образования углубления, энергия капли тратится на образование поверхности воды и на работу против силы Архимеда:

$$A_\sigma = \pi \sigma R^2,$$

$$A_{\text{арх}} = \int_0^R \frac{1}{3} \pi \rho g y^2 (3R - y) dy = \frac{1}{4} \pi \rho g R^4$$

где R – радиус углубления. Суммарная работа получается:

$$A = \pi \sigma R^2 + \frac{1}{4} \pi \rho g R^4.$$

Если приравнять её к энергии капли получим:

$$R = \left[\left(\frac{4\sigma^2}{\rho^2 g^2} + \frac{16}{3} r^3 h \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{2\sigma}{\rho g} \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Далее вылетает кумулятивная струя. Будем считать, что она имеет форму цилиндра. Энергия, запасённая в нашем углублении при его схлопывании тратится на образование столба жидкости и преодоление силы тяжести.

$$A_{\sigma} = 2\pi r_c l \sigma,$$

где r_c – радиус струи, а l – её длина.

$$A_{\text{тяж}} = \int_0^l \pi r_c^2 \rho g y dy = \frac{1}{2} \pi r_c^2 l^2 \rho g.$$

Суммарная работа получается:

$$A = 2\pi r_c l + \frac{1}{2} \pi r_c^2 l^2 \rho g.$$

Приравняв это к энергии капли найдем параметры струи:

$$r_c l = \left(\frac{4\sigma^2}{\rho^2 g^2} + \frac{8}{3} r^3 h \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{2\sigma}{\rho g}.$$