

# Особенности всплытия воздушного пузырька в силиконовом масле

Выполнил студент

218 группы:

Ефимова Софья Анатольевна



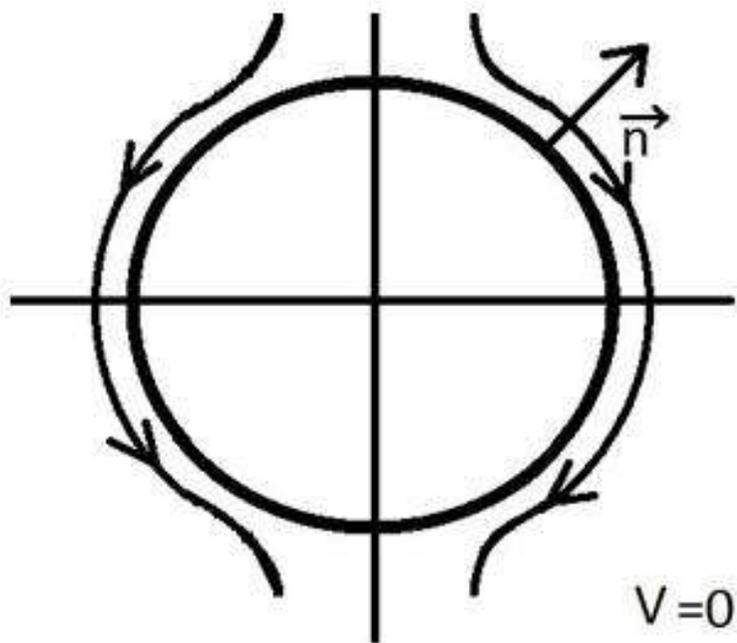
Научный руководитель:

ассистент, к.ф.-м.н.

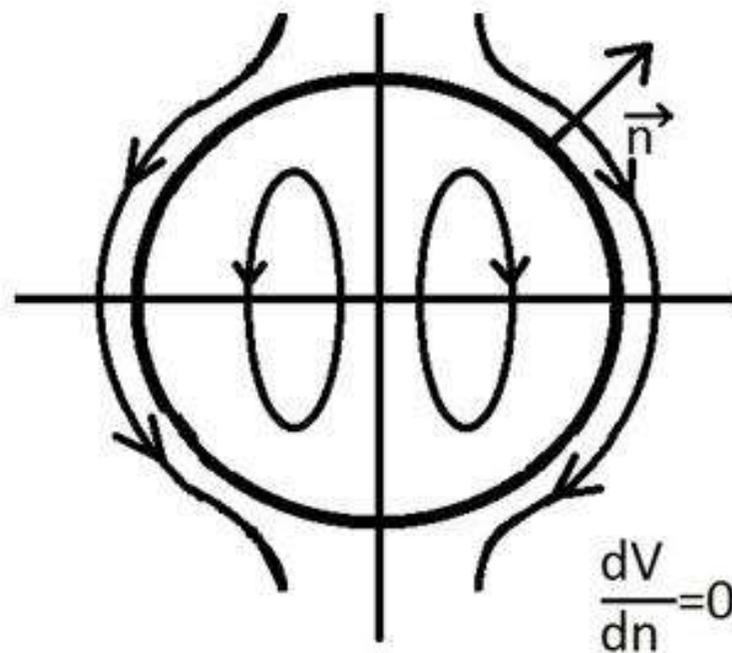
Плаксина Юлия Юрьевна

# Теоретическое введение

Схематичное представление граничных условий на поверхности воздух-жидкость а) - задача Стокса, б) - задача Адамара-Рыбчинского.



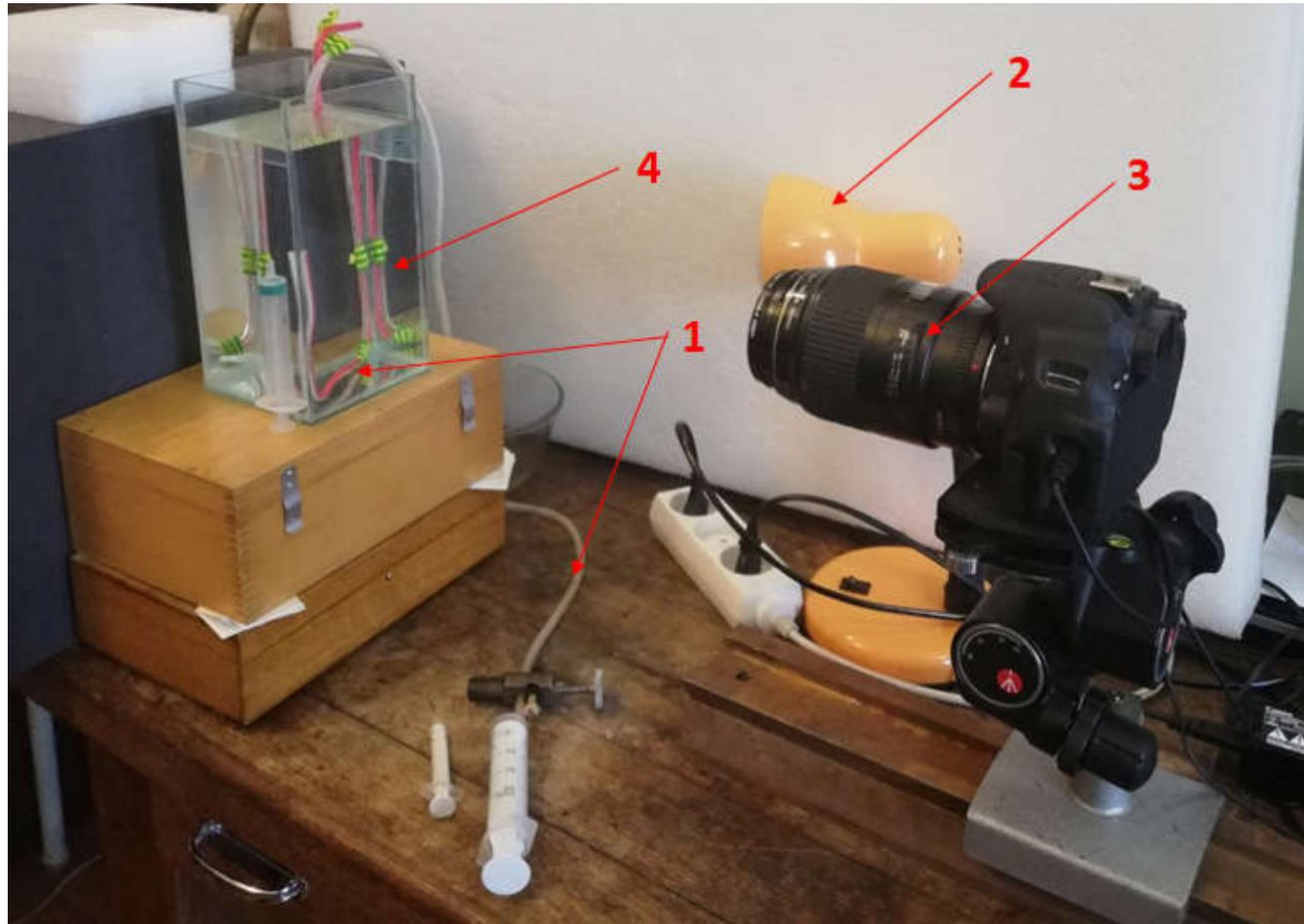
а)



б)

**Цель работы:** получение графика зависимости скорости всплытия пузырька в силиконовом масле ПМС-1000 от его эффективного диаметра, определение момента начала движения поверхности и сравнение с результатами, полученными для глицерина.

# Экспериментальная установка



- 1) шланг с различными насадками на конце и шприцами для выдувания пузырей;
- 2) лампа; 3) фотоаппарат с макро-объективом; 4) стеклянный аквариум прямоугольной формы 13.5см X 13см X 25см с силиконовым маслом.

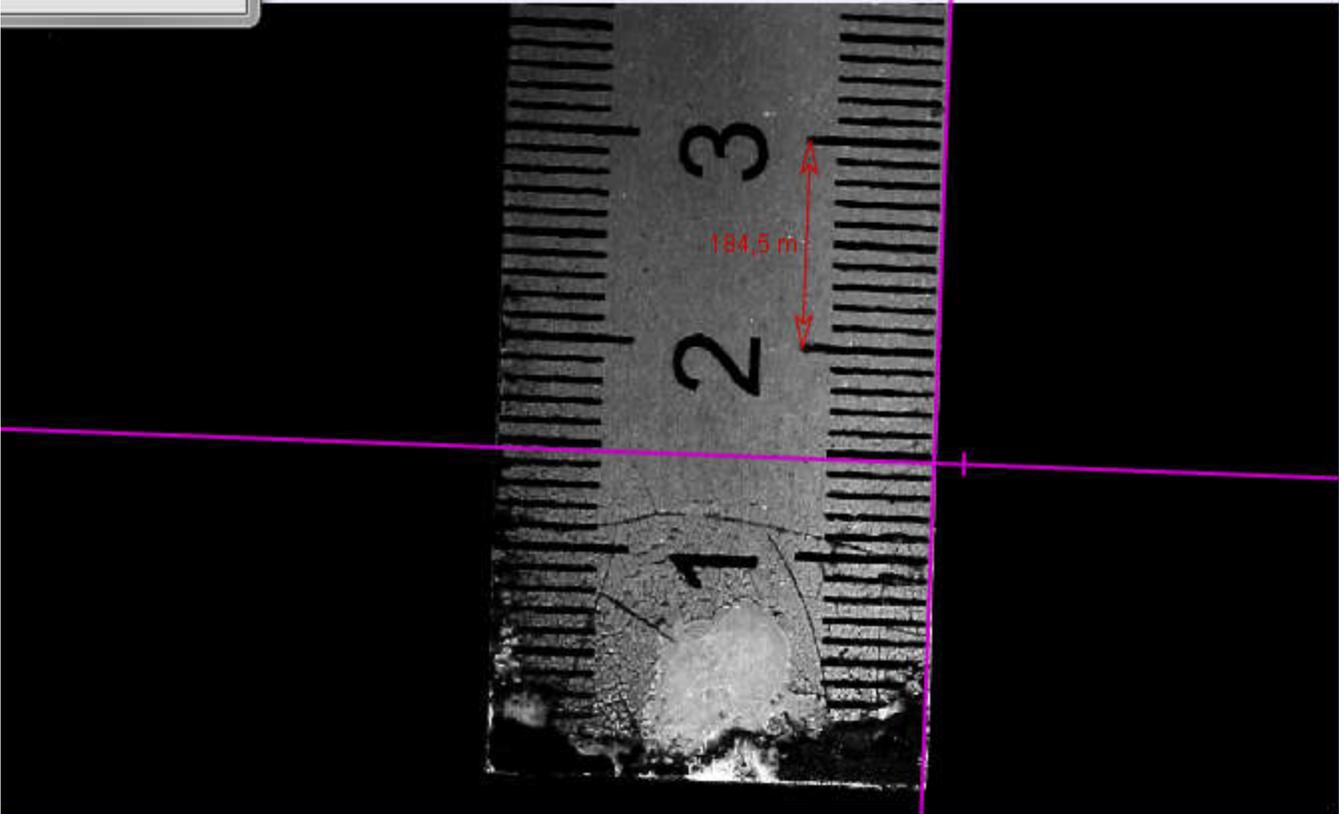
Tracker

Edit Video Track Coordinate System View Help

tape A step 0: length 184,5 m angle from x-axis 90,0° memory in use: 31MB of 241

Back Control

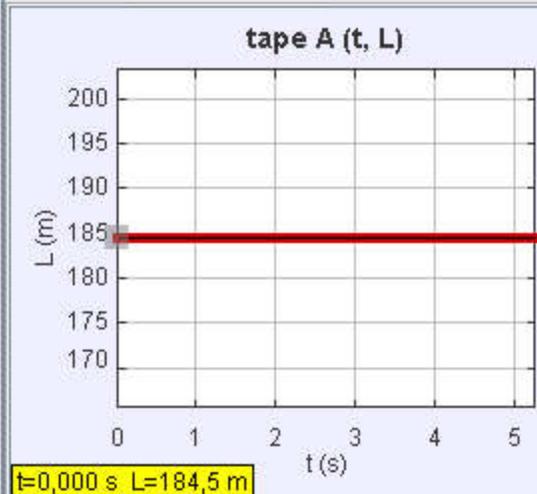
tape A



tape A selected (drag ends to measure distances and angles)

Plot tape A

tape A (t, L)



t=0,000 s L=184,5 m

Table tape A

t (s)	L (m)	$\theta$
0,000	184,5	90,0°
0,017	184,5	90,0°
0,033	184,5	90,0°
0,050	184,5	90,0°
0,067	184,5	90,0°
0,083	184,5	90,0°
0,100	184,5	90,0°
0,117	184,5	90,0°
0,133	184,5	90,0°
0,150	184,5	90,0°
0,167	184,5	90,0°
0,184	184,5	90,0°
0,200	184,5	90,0°
0,217	184,5	90,0°

000 100%

v1\_2826.trk

Autotracker: mass A position

● Search Search This Search Next

Frame 12: Template Match

Template: Evolution Rate 20% Automark 4

Search:  X-axis Only  Look Ahead

Target: Track ◇ mass A Point position

Frame 12 (match score 55,1): The match was marked automatically.

Help Show Key Frame Delete Close

File Track Coordinate System View Help

141% 0.2

A m 1,000 kg memory in use: 60MB of 241ME

Track Control ↗ tape A ◇ mass A

Plot ◇ mass A Sync

mass A (t, x)

$t=0,200\text{ s } x=-16,72\text{ m}$

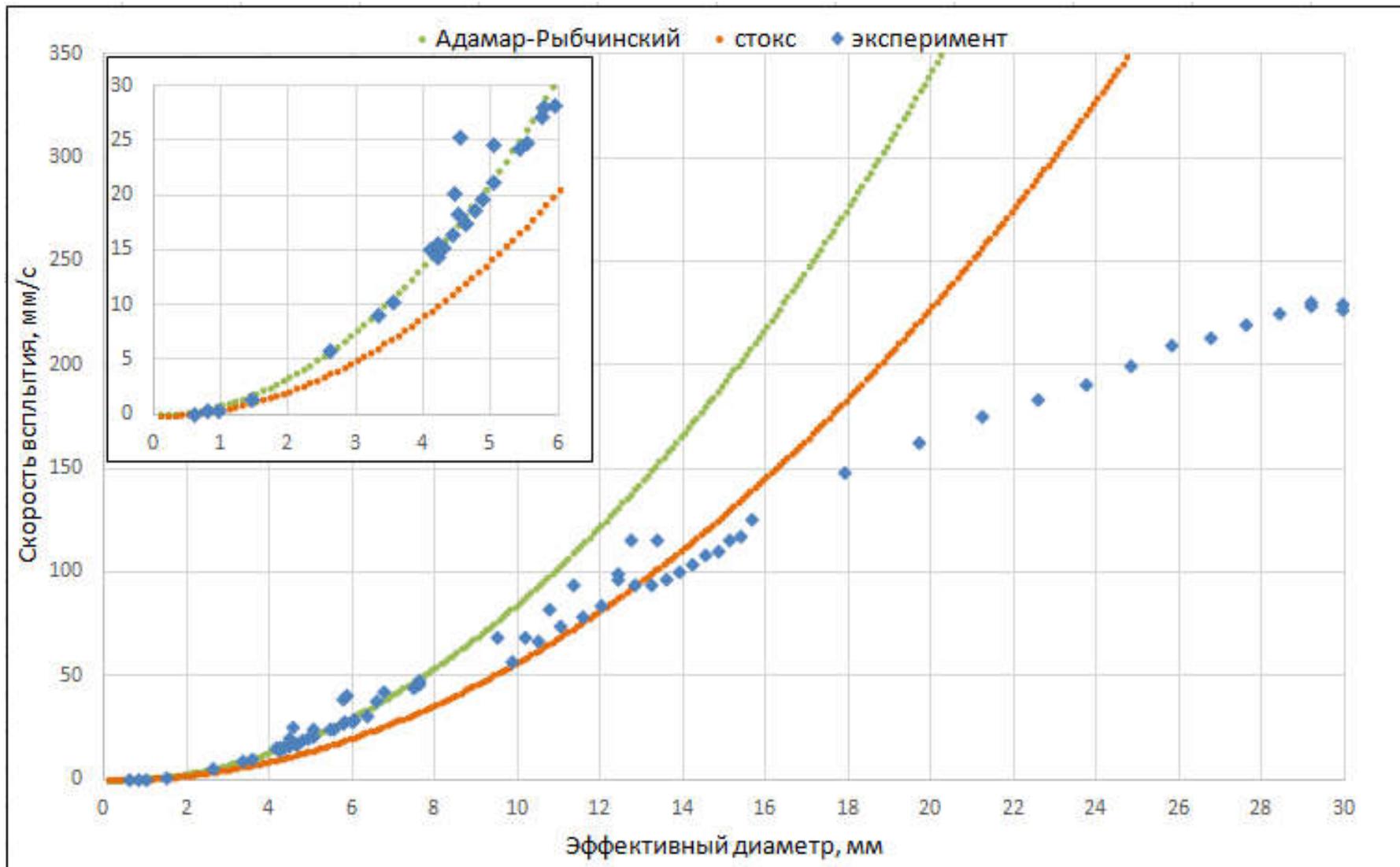
mass A (t, y)

Table ◇ mass A

t (s)	x (m)	y (m)	$v_y$ (m/s)
0,000	-16,71	-41,61	
0,017	-16,66	-37,69	240,8
0,033	-16,68	-33,58	243,5
0,050	-16,75	-29,57	236,5
0,067	-16,81	-25,69	237,3
0,083	-16,80	-21,65	241,2
0,100	-16,73	-17,64	240,9
0,117	-16,72	-13,61	246,0
0,133	-16,78	-9,429	243,5
0,150	-16,83	-5,489	233,2
0,167	-16,82	-1,647	235,2
0,184	-16,75	2,358	239,9
0,200	-16,72	6,359	

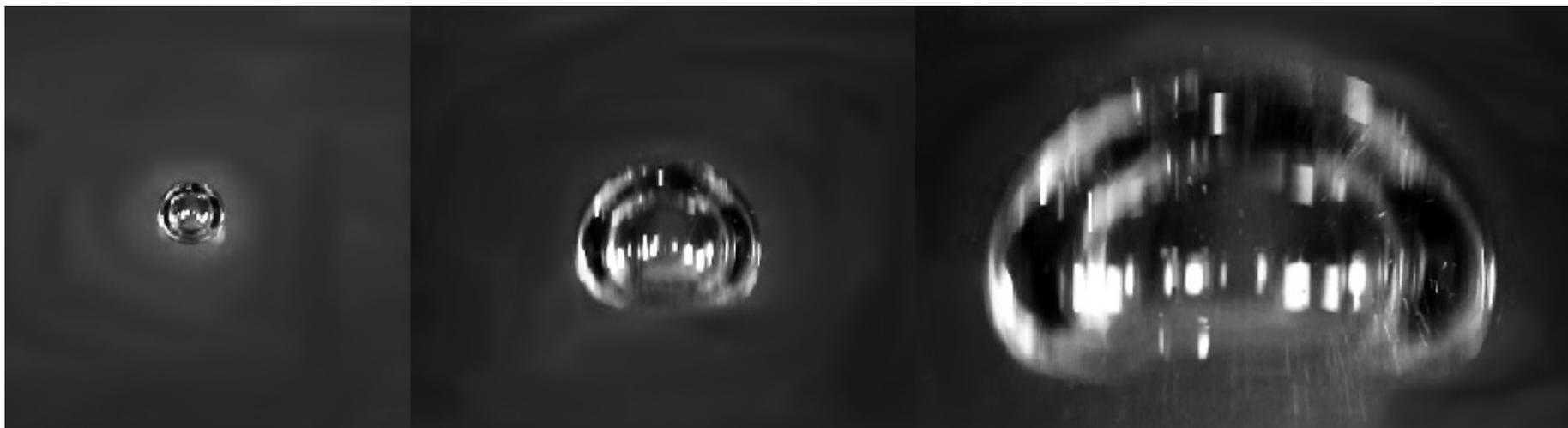
mass A selected (set mass on toolbar, shift-click to re-mark highlighted position)

# График зависимости скорости пузырька от его эффективного диаметра в



Полученные числа для точки ухода с кривой Адамара-Рыбчинского:  $Re=0.71$   
 $Bo=38.5$

# Зависимость формы пузырьков в силиконовом масле от размера.

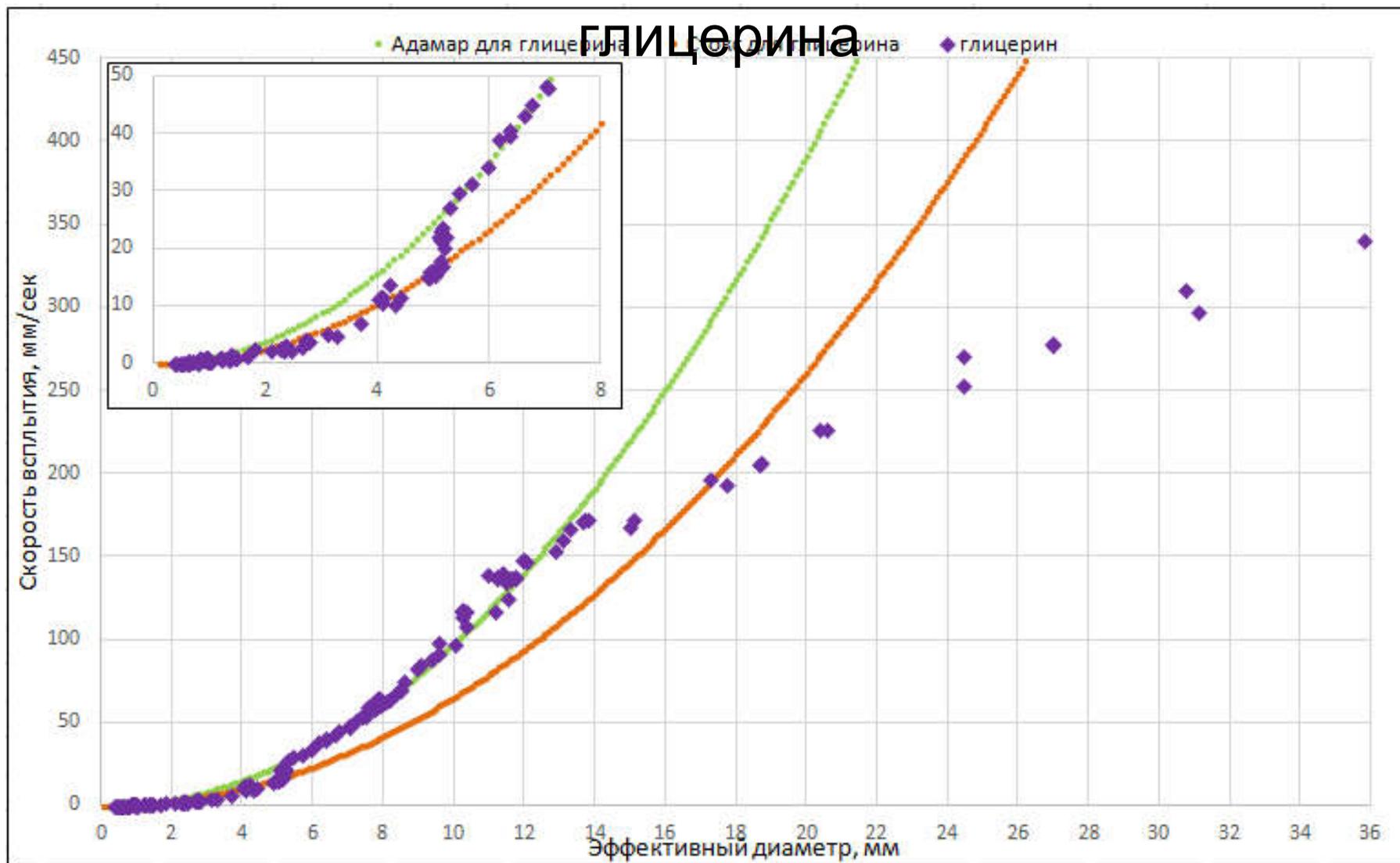


Диаметр 5,7 мм, на кривой Адамара-Рыбчинского

Диаметр 12 мм, уход с кривой Адамара-Рыбчинского

Диаметр 28 мм, много ниже двух теоретических кривых

# График зависимости скорости пузырька от его эффективного диаметра в глицерине



Полученные числа для точки ухода с кривой Адамара-Рыбчинского:  $Re=2.1$   
 $Bo=43.2$

## Результаты и выводы

1. Получен график зависимости скорости всплытия пузырька (размером до 30 мм) в силиконовом масле ПМС (полиметилсилоксан) - 1000 от его эффективного диаметра.
2. Проведено сравнение результатов с известными данными по всплытию пузырьков в глицерине, сходном с ПМС -1000 по вязкости и плотности, но отличающимся почти в три раза по коэффициенту поверхностного натяжения.
3. Показано, что переход от условий прилипания (формула Стокса) к условию проскальзывания (формула Адамара-Рыбчинского) происходит в ПМС при диаметре порядка 1,5 мм, в отличие от глицерина, где переход наблюдается в районе 5 мм. Такая разница связана со свойством глицерина образовывать поверхностные плёнки и этот эффект не учитывается существующими параметрами подобия.
4. Показано, что отклонение от кривой Адамара-Рыбчинского в силиконовом масле начинается при эффективном диаметре порядка 9 мм, в то время как в глицерине это происходит при 14 мм. Разница возникает из-за отличия коэффициентов поверхностного натяжения. Это подтверждается примерно одинаковыми числами Бонда в этих точках, хотя из-за разных чисел Рейнольдса в этих точках изменение формы пузырька в силиконовом масле происходит резче, чем в глицерине.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Allen H.S., On the motion of a sphere in a viscous fluid // Phil. Mag., 50 (1900), pp. 323-338.
2. Hadamard J., Mouvement permanent lent d'une sphère liquide et visqueuse dans un liquide visqueux // Comptes Rendus, Acad. Sci., Paris, 152 (1911), pp. 1735-1738.
3. Rybczynski W., Ober die fortschreitende Bewegung einer flüssigen Kugel in einem zähnen Medium // Bulletin Academie de Sciences de Cracovie, A (1911), pp. 40-46.
4. Лебедев А.А., О применимости [закона Стокса](#) для жидких шариков, движущихся в вязкой среде // ЖРФХО, физическое отделение в.3, (1916).
5. Boussinesq J., "Vitesse de la chute lente, devenue uniforme, d'une goutte liquide sphérique, dans un fluide visqueux de poids spécifique moindre," Ann. de Chimie et de Phys., 29, (1918), pp. 864-372.
6. Левич В.Г., Физико-химическая гидродинамика, Физматлит (1959), 700с.
7. Городецкая А.В., ЖФХ, т.23, №7, (1949).
8. Moore D.W., The velocity of rise of distorted gas bubbles in a liquid of small viscosity // J. Fluid Mech. 23, part 4, (1965), pp. 749-766
9. Peebles F. N. and Garber H.J., Studies on the motion of gas bubbles in liquids // Chem. Eng. Progress 49, № 2, (1953), pp. 88-97.
10. Haberman W. L., Morton R. K., An experimental investigation of the drag and shape of air bubbles rising in various liquids // David Taylor Model Basin Rep. № 802, (1953), p. 54
11. Duineveld P. C., The rise velocity and shape of bubbles in pure water at high Reynolds number // J. Fluid Mech. 001, 292, (1995), pp. 325-332
12. Parkinson L., Sedev R., Fornasiero D., Ralston J., The terminal rise velocity of 10–100 µm diameter bubbles in water // Journal of Colloid and Interface Science 322 (2008) pp. 168–172.

**Спасибо за внимание!**