

Примерные задачи для контрольной №1. Можно пользоваться книгами, конспектами и лекциями.

1. Объяснить суть метода вращающейся капли. Почему плотность "измеряемой" жидкости д.б. меньше плотности заполняющей жидкости? Вывести формулу Воннегута. Возьмите каплю объёмом 2 mm^3 и $\Delta\rho=100 \text{ kg/m}^3$. Скорость вращения 103 rad/s . Пусть измеряемая длина капли $L=1 \text{ cm}$. Посчитайте межфазное натяжение. Каким системам соответствует такая величина γ ? Это низкое или высокое межфазное натяжение? Почему метод хорош для измерения очень низкого межфазного натяжения?
2. Гидродинамика: задача о течении Куэтта между параллельными плоскостями. Плоскости движутся со скоростью U относительно друг друга. Расстояние между плоскостями h . Найти скорость течения как функцию поперечной координаты z . Течение ламинарное, канал узкий, жидкость несжимаема. (На границах – прилипание). Найти величину силы, действующей на нижнюю пластину, если её площадь равна S , вязкость жидкости μ . Куда направлена эта сила?
3. Объяснить опыт с перевернутым стаканом воды. Накрываем стакан с водой тонким картоном, переворачиваем, убираем руки – вода не вытекает, картон держится благодаря атмосферному давлению. Убираем картон – вода вытекает. Почему? Почему из перевернутых трубок очень малого диаметра вода не вытекает, как из стакана.
4. Из капиллярной трубки (пипетки) жидкость не вытекает при закрытом пальцем верхнем отверстии (этим пользуются врачи, биологи, химики). Из трубки большого диаметра жидкость вытекает даже при закрытом отверстии. Объясните.
5. Если возбуждаемые на плоской тонкой плёнке волны длинные ($\Lambda \gg \lambda$), то основную роль играет гравитационный механизм релаксации (гравитационные волны). Если волны короткие ($\Lambda \ll \lambda$), то преобладает капиллярная релаксация (капиллярные волны). Используя выражение для характеристической постоянной времени τ для капиллярных и гравитационных волн, оценить λ для воды. Что это за параметр? Какие примеры из повседневной жизни также позволяют оценить λ для воды? Каков порядок величины λ для жидкостей на Земле?
6. Если на трубке выдуты мыльные пузыри, то воздух из пузыря меньшего диаметра переходит в пузырь большего диаметра: меньший пузырь уменьшается, а больший увеличивается. Объясните явление. Когда воздух быстрее проходит через трубку, на которой выдут мыльный пузырь: при большом диаметре пузыря или при малом? Как посчитать скорость течения воздуха через цилиндрическую трубку? Каковы порядки величин для трубки радиусом см, мм, микрон и радиусах 2 и 10 см?
7. Две смоченных плоских поверхности сильно прилипают друг к другу, если краевой угол θ меньше $\pi/2$. Пусть между плоскостями (расстояние H) находится большая капля, которая образует капиллярный мостик, характеризуемый радиусом R и площадью поверхности $A=\pi R^2$. Как посчитать давление Лапласа внутри капли? Чему равна сила притяжения (адгезии), если $H \ll R$? Для воды, используя $R=1 \text{ cm}$, $H=5 \text{ микрон}$ и $\theta=0$, рассчитайте $\Delta\rho$ и силу адгезии F .
8. Выведите формулу для высоты подъёма жидкости в капилляре (из баланса давления и силовым методом)
9. Сделайте оценки, показывающие, почему возмущение поверхности вблизи твёрдой стенки (мениск) убывает по экспоненциальному закону. Объясните, почему характеристическая длина

совпадает с капиллярной. Чему будет равна высота поднятия мениска на цилиндрическом волокне? На плоской поверхности? Где она будет выше? Посчитайте высоту подъёма мениска на волокне радиуса 10 микрон и $\lambda=1.5$ мм. Объясните, как это явление используется для изготовления зондов в атомно-силовой микроскопии.

10. Объясните, почему большая капля принимает форму лужи. Выведите формулу для толщины лужи. Что происходит с краевым углом при растекании большой капли. 5 литров воды пролилось на пол. Рассчитайте площадь поверхности лужи для $\theta=180^\circ$ и $\theta=1^\circ$.

11. Объясните закон Дзюрина. Как скорость капиллярного поднятия зависит от радиуса капилляра? Толщины его стенок? Материала поверхности? Будет ли наблюдаться этот эффект в плоских капиллярах?

12. Объясните суть метода максимального давления пузырька для измерения поверхностного натяжения. В чём его преимущества по сравнению с другими методами? Можно ли использовать этот метод при высоких температурах?

13. Объясните, почему суть метода Вильгельми состоит в измерении капиллярной силы F , действующей на объект, геометрия которого хорошо определена? Объясните, как получается выражение $F=r\gamma\cos\theta$, где r – периметр линии контакта. Выражение содержит 2 неизвестных, γ и θ , как преодолевается это затруднение? Почему измеряемая сила имеет максимум? В каких режимах работает установка?

14. Используя уравнение Навье-Стокса для тонкой плёнки $-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0$ и два граничных условия (на границе твёрдое/жидкость и жидкость/газ) для определения профиля скорости, посчитайте расход жидкости Q и её среднюю скорость U . Покажите, что численный коэффициент в уравнениях $U \propto \frac{h^2}{\mu} \frac{\Delta p}{L}$ и $Q \propto \frac{h^3}{\mu} \frac{\Delta p}{L}$ равен 1/3 и что скорость на свободной поверхности равна 3/2 средней скорости.

15. Объясните суть неустойчивости Рэлея-Тейлора. Какие силы её вызывают? Какие силы стремятся её подавить? Объясните, почему термодинамический анализ приводит к бесконечному количеству возможных длин волн, вызывающих неустойчивость. Как длина этих волн выражается через капиллярную длину? На каких принципах основан динамический анализ неустойчивых волн с целью определения волны-«победителя»? Как оценить τ^* (минимум $\tau(q)$), используя принципы скейлинга и соображения размерности?

16. Объясните суть неустойчивости Рэлея-Плато. Каковы её физические причины? Как на неё влияет сила тяжести? Модуляция толщины плёнки $h = h^* + \delta h \cos(qx)$. Выведите уравнение

$$h^* = h_0 - \frac{(\delta h)^2}{4R}, \text{ где } h_0 - \text{исходная толщина невозмущённой плёнки. Каковы физические следствия}$$

того, что $h^* < h_0$? Объясните, почему термодинамический анализ приводит к бесконечному количеству возможных длин волн, вызывающих неустойчивость. Как длина этих волн выражается через капиллярную длину? На каких принципах основан динамический анализ неустойчивых волн с целью определения волны-«победителя»? Чему равна длина этой волны?

17. Посчитайте характеристическое время роста неустойчивости Рэлея-Плато (τ^*) для плёнки $h_0 = 10$ микрон полидиметилсилоксанов с молекулярной массой 3700 г ($V^*=433$ мм/с) и 62 700 г ($V^*=1.8$ мм/с), нанесённой на волокно радиусом $b=500$ микрон. Посчитайте теперь τ^* для плёнки $h_0 = 100$ микрон

18. В чём суть идеи Ландау-Левича-Дерягина, лежащей в основе расчёта толщины плёнки, наносимой на движущуюся подложку. Какие две основные силы играют роль? Каким безразмерным числом характеризуется их отношение? Какую форму имеет скейлинговое выражение для толщины плёнки, наносимой на плоскую поверхность, цилиндрическое волокно, цилиндрический капилляр? Почему результат ЛЛД выполняется только для очень малых капиллярных чисел? Что произойдёт, когда Ca превысит 1? Почему в этом случае вязко-капиллярный режим сменится на вязко-гравитационный? Каким выражением описывается закон Дерягина?

19. Твёрдая пластина вытягивается из полиметилдисилоксана со скоростью $100 \mu\text{m/s}$: $\mu=48 \text{ mPa s}$, $\rho=960 \text{ kg/m}^3$, $\gamma=20.8 \text{ mN/m}$. Посчитайте λ , V^* , Ca ? Чему равна толщина наносимой плёнки? Чему была бы равна толщина при нанесении плёнки на волокно с радиусом 0.1 mm , с радиусом $100 \mu\text{m}$? Устойчивы ли волны с $\Lambda=5 \text{ mm}$ на плоской и цилиндрической плёнке? Оцените время эволюции волн. Как будут эволюционировать волны с $\Lambda=500 \mu\text{m}$? Что изменится, если в качестве жидкости мы возьмём нонан? Что изменится, если мы увеличим скорость?

20. Дайте общее описание динамики капиллярной пропитки. Сформулируйте уравнения движения в общем виде. Сформулируйте упрощённые уравнения для вязкого и инерционного режима. Покажите, как уравнение движения, соответствующее вязкому режиму используется для вывода закона Вашбурна. В частности, объясните, откуда берётся $z \propto \sqrt{t}$. Связано ли это с диффузией? Объясните, почему в инерционном режиме пропитки $z \propto t$

21. Какими способами можно вывести уравнение Юнга? Это уравнение для случая полного или неполного смачивания? Каким коэффициентам растекания оно соответствует? Как краевой угол зависит от природы жидкости? Как он зависит от типа подложки? Что такое высокоэнергетические и низкоэнергетические поверхности? Как предсказать тип смачивания низкоэнергетической поверхности? Как изменить краевой угол?

22. Как оценить величину поверхностного натяжения, зная энергию когезии молекулы? Приведите оценки, позволяющие понять в каких пределах будет меняться величина γ для типичных жидкостей. Какова размерность γ (покажите, что следует из энергетического и силового определения)? Каким образом можно повлиять на величину коэффициента поверхностного натяжения? Объясните смысл закона Лапласа. Приведите примеры минимальных поверхностей нулевой кривизны.

23. Приведите примеры проявления гистерезиса краевого угла из реальной жизни. Объясните причины гистерезиса. Что общего и в чём отличие θ_a и θ_g от динамического краевого угла?

24. Покажите, как выводится модель Венцеля. Какова основная идея подхода? Пусть исходный материал гидрофилен, увеличивается или уменьшается краевой угол для шероховатой поверхности? Поясните, почему уравнение Венцеля имеет границы применимости? Каковы основные проявления состояния Венцеля? Выведите формулу для параметра шероховатости r для основных типов текстур: колонн с разным сечением и «страйпов». Посчитайте r для разных текстур с $h=5$ микрон (высота элементов текстуры), $d=15$ микрон (диаметр), $w=20$ микрон

(расстояние между элементами текстуры). Что изменится, если эти величины будут 50, 200 и 100 нм, соответственно.

25. Объясните суть модели Касси. Как оценить, какое состояние, Касси или Венцеля, будет энергетически выгодным? Покажите, что состояние факира будет метастабильным для капли на текстуре «разбавленных» колонн. В чём причина подвижности капли на таких поверхностях? В каких приложениях это используется?

26. Тонкий плоский канал заполнен маслом. Через капилляр вводится менее вязкая жидкость. Межфазная граница образует «пальцы» (fingering). Объясните явление – неустойчивость Тейлора-Саффмана. Какие силы и почему отвечают за развитие этой неустойчивости? Как её избежать?

27. Смачивающая жидкость (силиконовое масло) образует мениск на стенке. Приложен градиент температуры (50 К/см). Жидкость поднимается вверх по стенке. Образуются «пальцы». Объясните явление. В какую сторону направлен градиент температуры?

28. Приведите примеры течений Марангони: из-за градиента γ , градиента S . Как создать градиент поверхностного натяжения? Как создать градиент коэффициента растекания? Приведите пример реактивного смачивания. Куда двигается капля, в область плохого или хорошего смачивания?

30. Что такое число Бонда? Для решения каких задач его нужно оценивать? Приведите примеры коллоидных явлений, где число Бонда велико/мало.

31. Какой закон из курса общей физики является аналогом уравнения Навье-Стокса? В чём сложность решения этого уравнения? Почему появляются инерционные (нелинейные и нестационарные) члены? Какие «силы» входят в уравнение? Какое безразмерное число характеризует относительную роль вязких и инерционных членов? Каковы граничные условия на поверхности жидкость/жидкость, жидкость/газ, жидкость/твёрдое? Как управлять числом Рейнольдса? Приведите примеры вязких течений.

32. Инерционные течения. Приведите примеры. Что такое число Рейнольдса? Число Вебера?

33. Капиллярное и гравитационное растекание капель. Какие силы отвечают за растекание? Основные модели. В каких случаях кажущийся краевой угол больше равновесного? Менше равновесного? Как динамический краевой угол зависит от коэффициента растекания при полном смачивании? Закон Таннера-Хоффмана. Почему скорость растекания замедляется со временем?

34. Динамический краевой угол. Примеры проявления динамического угла в экспериментах по вынужденному и спонтанному смачиванию. Как и почему динамический угол зависит от капиллярного числа. Что наблюдается при больших углах? Больших капиллярных числах?

35. Гомогенная и гетерогенная нуклеация. Уравнение Кельвина. Почему нуклеация зависит от γ ? Почему малые капли испаряются, а большие растут? Радиус критического зародыша. Оцените, сколько в нём молекул. Покажите, что в большинстве случаев гомогенная нуклеация маловероятна. Примеры гетерогенной нуклеации.