

# Физика приготовления кофе



Photo: © gipo.montesanto



**Выполнила:**

*Манченко Екатерина*



# Цели работы:

- Познакомиться с различными способами приготовления.
- Изучить физический процесс приготовления кофе.
- Познакомиться с законом Дарси.
- Выявить наиболее вкусный кофе при изменении состава напитка.
- Выявить способы улучшения качества кофе.

# Способы приготовления кофе

☎ Кипяченый кофе

☎ Кофеварка с бумажным фильтром

☎ Растворимый кофе

☎ Старинная неаполитанская кофеварка  
«Napoletana»

☎ «Экспрессо»

☎ Итальянская «мокка»

☎ «Кофе по-турецки»

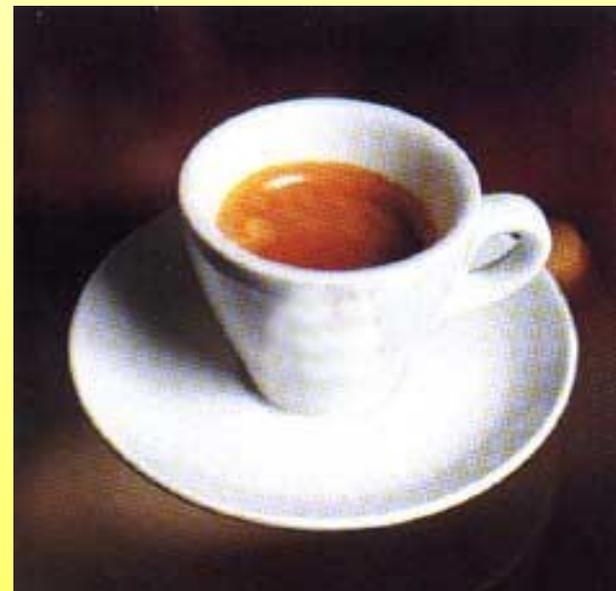


# Кипяченый кофе

Один из старинных способов приготовления кофейного напитка, сохранившийся до наших дней на севере Скандинавии.

## Приготовление:

*Трожаренный и крупного помола кофе засыпается в воду в количестве 10 г на 150-190 мл воды и кипятится примерно 10 минут. Затем напиток разливается без фильтрации по чашкам и в течении нескольких минут отстаивается.*



# Кофеварка с бумажным фильтром

## Приготовление:

Кофе крупного помола засыпается в конический фильтр, изготовленный из специальной фильтровальной бумаги. Далее на помолотый кофе капает сверху горячая вода, «обмывает» его, просачивается сквозь фильтр и собирается в стеклянный сосуд. В результате получается легкий кофейный напиток. Американская доза составляет 5-6 г кофе на 150-190мл воды, в Европе – 10г на чашку.



# Растворимый кофе

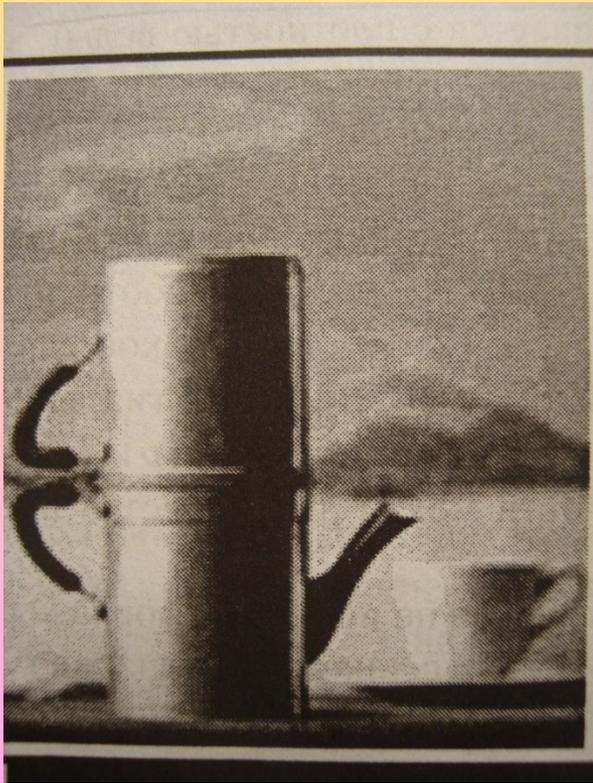


*Растворимый кофе приготавливают из настоящего кофе, который измельчают и выдерживают при высокой температуре и очень низком давлении. Вода сублимирует, а оставшийся порошок помещают в вакуумную упаковку, где он может храниться весьма долго, не теряя своих свойств. Перед употреблением он просто растворяется в горячей воде.*



# Старинная неаполитанская кофеварка

## "Napoletana"



«Napoletana» состоит из двух сосудов, поставленных один на другой, и фильтра, заполненного кофе, между ними. Вода в нижнем цилиндре доводится до кипения, затем кофеварка снимается с огня и переворачивается. Происходит фильтрация под действием давления столба воды порядка нескольких сантиметров, так что  $\Delta p$  не превышает 0,01 атм. Процесс приготовления идет медленней, чем в мокке. Однако кофе выбирают более крупного помола, чем для мокки, иначе напиток будет готов лишь через полчаса и окажется холодным.

Эта кофеварка напоминает мокку, однако вместо фильтрации избыточным давлением пара используют фильтрацию под влиянием силы тяжести.

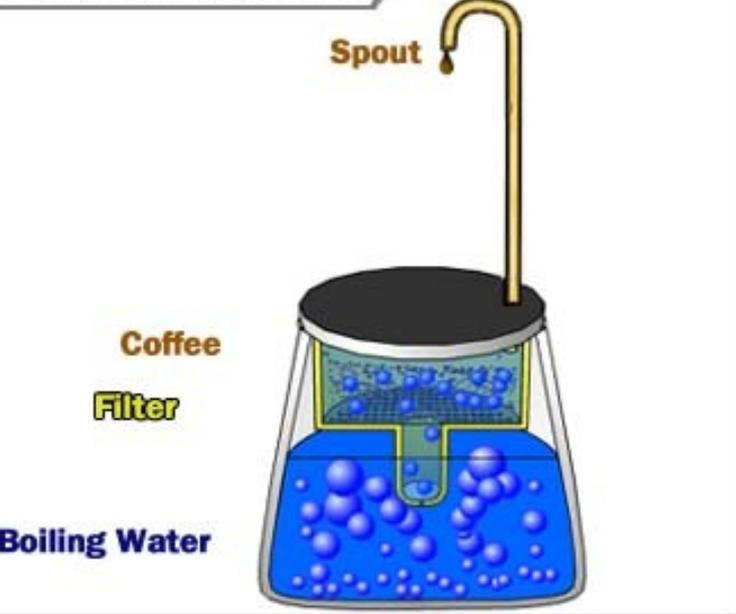


# Кофеварка «Espresso»



Аппарат для приготовления «эспрессо», который тоже называют эспрессо, гораздо больше. В кофеварке эспрессо вода с температурой 90-94 °С продавливается под давлением 9-16 атм сквозь фильтр с кофейным порошком специального помола, еще более мелкого, чем для мокки. Весь процесс занимает 15-25 секунд, в результате чего изготавливают 1-2 порции кофе по 20-35 мл каждая.





# «Экспрессо»

Процесс протекания жидкости сквозь фильтр с кофейным порошком описывается тем же законом Дарси, однако разность давлений, прилагаемая к фильтру, здесь в десятки раз больше, а температура ниже  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Сравнительно короткое время взаимодействия воды с порошком совместно с высоким давлением оставляют в порошке все лишнее и извлекают из него все лучшее: эмульсии кофейных масел формируют ту густоту напитка, которая не может быть достигнута никаким другим способом; его аромат сохраняется наличием пенки, которая не позволяет исчезнуть летучим компонентам.

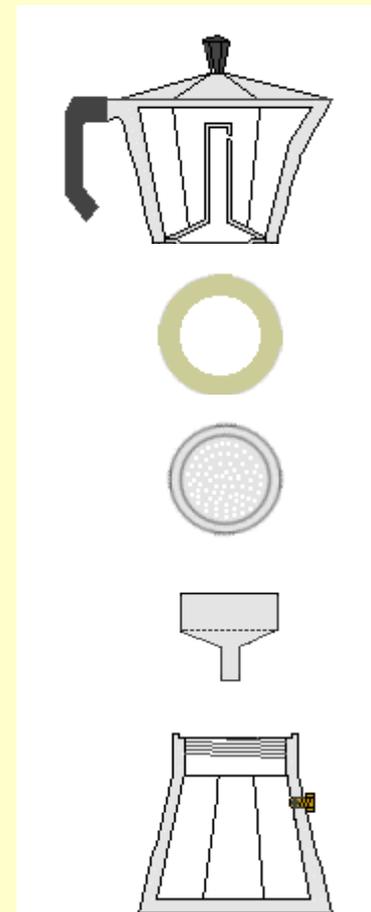


# Итальянская "Мокка"



«Мокка» состоит из  
трех частей:

- 1. Нижнего усеченного конуса*
- 2. Металлического фильтра*
- 3. Верхнего усеченного конуса*



# Процесс приготовления

*Процесс приготовления заключается в доведении до кипения воды в нагревателе, последующем ее прогоне через кофейный порошок, дальнейшем подъеме приготовленного таким образом напитка по трубке и его сливе в объеме верхнего конуса. После этого кофе готов к разливу.*



# Что является «двигателем» описанного процесса?

*Конечно, огонь. Вода, кипящая в замкнутом объеме, где ей отведено большее место, чем пару, над поверхностью имеет температуру свыше  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а пар и его давление над поверхностью воды, оставаясь насыщенным, превышает 1 атм и растет. Внешнее давление вплоть до верхнего уровня фильтра равно атмосферному.*

*Насыщенный пар с температурой свыше  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  начинает играть роль сжатой пружины, продавливающей перегретый кипяток через кофейный порошок. Из кофе извлекаются все те ароматы, масла и др. компоненты, что превращают воду в чудесный напиток.*



# Закон Дарси

С помощью закона Дарси можно узнать, до какой температуры перегревается кипяток в нижней части кофеварки.

Для этого оценим разность давления между нижней и верхней сторонами фильтра по формуле Дарси:

$$\Delta P = W\eta L / k = m \eta L / \rho S t k$$

Характерные размеры фильтра у мокки на 3 порции:

$L=1\text{см}$  и  $S=30\text{см}^2$ , масса кофе  $m=150\text{г}$  набегает за  $t=3\text{мин}$ , коэффициент проницаемости  $k\sim 10 - 13 \text{ м}^2$ , плотность воды -  $\rho=1000\text{кг/м}^3$ , вязкость  $\eta(100\text{ }^\circ\text{C}) = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

Согласно графику зависимости давления насыщенного пара от температуры кипения:

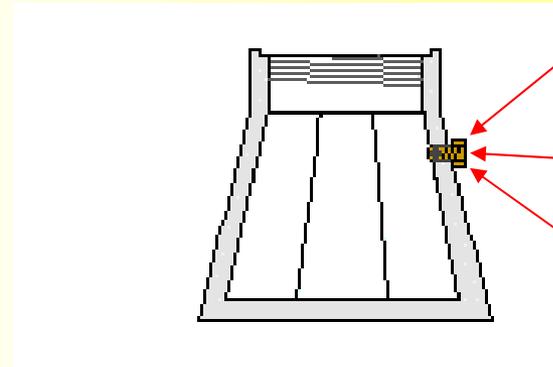


$$\Delta P \sim 10^4 \text{ Па} \rightarrow T^* \sim 110\text{ }^\circ\text{C}$$

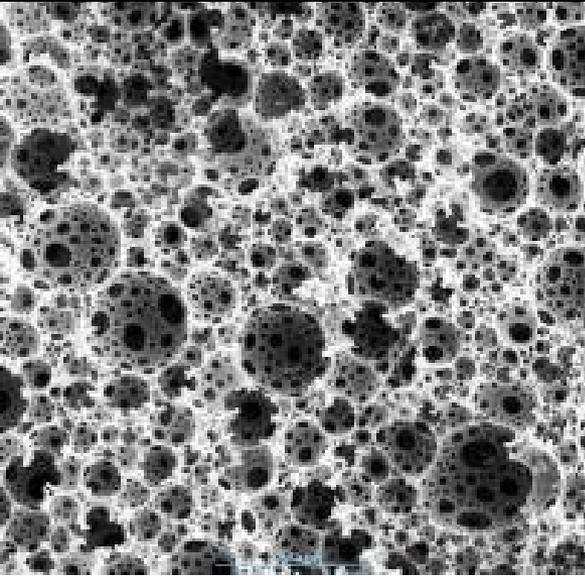
# Взрыв "мокки"

## Причины:

- 1. Может засориться или окислиться аварийный клапан в нижней части мокки.*
- 2. Плотнупакованный кофейный порошок слишком мелкого помола приводит к непроходимости самого фильтра.*



# Отклонения от закона Дарси на малых давлениях: открытие капилляров



Filtrazione

$$\Delta P_{\min} \approx \frac{2\sigma}{r}$$

$$r \sim 0.1 \text{ mm}$$

$$\sigma = 0.072 \text{ N/m}$$

$$\Delta P_{\min} = 0.05 \text{ atm}$$

*Линейный закон фильтрации Дарси написан без учета капиллярных явлений. При среднем радиусе капилляров  $r \approx 0,1$  мм часть из них может оказаться запертой для протекания жидкости при нормальной разности давлений на фильтре ( $\Delta p \approx 105$  Па).*

*При температуре порядка критической (плотность пара сравнивается с плотностью воды), которая для воды равна  $T_{\text{кр}} = 373 \text{ }^\circ\text{C} = 646\text{K}$ , вся вода превратится в пар. Дальнейшее нагревание возможно, но сама мокка станет светиться (такого еще никто не видел).*

# Найдем давление в нижней части МОККИ:

Дано:

$$m = 150 \text{ г}$$

$$V = 200 \text{ см}^3$$

$$M = 18 \text{ г/моль}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/моль.К}$$

$$p_{кр} = m/M * RT/V$$

Ищем результат:  $p_{кр}$  - ?

$$p_{кр} = 0,15 \text{ кг} / 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 8,31 \text{ Дж/моль.К} \cdot 646 \text{ К} / 0,0002 \text{ м}^3 \approx 2,2 \cdot 10^8 \text{ Па} \approx 10^8 \text{ Па}$$

**Итог:** это давление порядка имеющегося на дне Марианской впадины. Да и энергия, запасенная в кофеварке впечатляет:

$$E = 5/2 p_{кр} V \approx 150 \text{ кДж}$$

Так что взрыв разогнал бы отдельные части мокки до скоростей порядка сотен метров в секунду.

**Итог:** из приведенных оценок понятно, что резьба не выдержит гораздо раньше.

# **ВЫВОДЫ:**

\* Чтобы улучшить качество кофе надо:

ставить кофеварку на слабый огонь, чтобы процесс фильтрации проходил медленнее и пар в нижнем сосуде не слишком перегревался.

\* Чтобы избежать эффекта «бомбы» следует:

- а) присматривать за клапаном;
- б) выбирать кофе среднего помола;
- в) засыпать его в фильтр без горки и не утрамбовывать.

# « Кофе по-турецки »



*Кофейные зерна часто перемалываются в пыль, и этот порошок, часто вместе с сахаром, засыпается в металлическую конусообразную кофеварку, называемую джезвой.*

# Процесс приготовления.

*Затем молотый кофе кладется на поверхность уже горячей воды. В результате прогрева: горячая жидкость уносит с собой вверх на поверхность частички кофе, где они, благодаря силам поверхностного натяжения, зажимаются и образуют «кофейную корочку».*



# Процесс приготовления.

Постепенно содержимое джезвы доводится до кипения: сквозь корочку прорывается пузыри, образуется пена. В этот момент джезва снимается с плиты. Процедура доведения до кипения повторяется еще 2 раза, что приводит к образованию обильной пены. Полученную жидкость разливают по небольшим чашкам и ждут, пока не уйдет на дно осадок.



# Опыты с кофе.

☹ *Кофе, приготовленный с использованием неочищенной воды.*

☹ *Кофе, приготовленный с использованием очищенной воды.*



# **Кофе, приготовленный с использованием неочищенной воды.**

**Время приготовления напитка – 10 минут.**

**Полученная жидкость:**

- невязкая
- некрепкая
- не имеет аромата
- имеет специфический привкус

**В течение всего времени приготовления появляется толстая пленка.**

**На поверхности чашки также есть пленка.**



# Процесс приготовления



**Приготовленное кофе**



# **Кофе, приготовленный с использованием очищенной воды.**

**Время приготовления напитка – 10 минут.**

**Полученная жидкость:**

- **невязкая**
- **имеет характерный вкус**
- **имеет приятный аромат**

**В течение всего времени приготовления пленка не появляется.**



# Процесс приготовления



Приготовленный кофе



**Кофе на  
неочищенной  
воде**



**Кофе на  
очищенной  
воде**

# Вывод.

*Для получения вкусного кофе нужно:*

- ☹️ Готовить на медленном огне*
- ☹️ Использовать очищенную воду*
- ☹️ Прекращать процесс варки до начала кипения (на чем основан процесс работы кофеварок)*

# Чай в турке.

Теряет ли свои вкусовые  
качества чай,  
приготовленный в турке?



# Чай, приготовленный в турке.



*Время приготовления  
напитка – 10 минут.*

*Полученная жидкость:*

- имеет крепкий вкус*
- нетерпкая*
- имеет  
недостаточный  
аромат*

*В течение всего  
времени  
приготовления  
листья не оседают  
на дно турки.*

Чай до начала приготовления



# Чай во время приготовления



Чай ГОТОВ



# Чай, приготовленный в заварном чайнике.



*Время приготовления  
напитка – 15 минут.*

*Полученная жидкость:*

- крепкая на вкус*
- терпкая*
- имеет приятный  
аромат*

*Во время  
приготовления  
листья оседают на  
дно чайника.*





При приготовлении чая в турке, чай теряет свои вкусовые качества. Поэтому чай лучше всего приготавливать в заварном чайнике.



**ВЫВОД.**

# ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

- Познакомилась с различными способами приготовления кофе.
- Познакомилась с законом Дарси.
- Научилась варить кофе.
- Убедилась на опыте, что чай не стоит готовить в кофеварке.