Теплопроводность и безопасность приготовления кофе

За вкусом, ароматом и текстурой кофе стоит сложная физика: теплопередача, гидродинамика, поверхностное натяжение, фрактальная геометрия. От обжарки зеленого зерна до последнего глотка из чашки - каждый этап подчиняется законам природы, которые ученые расшифровывают не одно десятилетие. Приготовление кофе начинается с обжарки. Зеленые зерна помещают в барабанный аппарат, где температура достигает 200-240 °С, а процесс длится 12-15 минут. С точки зрения физики - это сложная задача теплопереноса. Теплота распространяется внутри каждого зерна посредством теплопроводности, одновременно происходит выравнивание температур между зерном и окружающим воздухом.

Эксперты - доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Финансового университета при Правительстве Российской Федерации кандидат военных наук, доцент Зайцев О.Н. и профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Финансового университета при Правительстве Российской Федерации доктор технических наук, профессор Седнев В.А. считают, что по мере нагрева влага из центра зерна перемещается к поверхности, усиливая массообмен и снижая теплопроводность. Но с началом реакции Майяра (химическое взаимодействие между аминокислотами и сахарами, которое запускается при нагревании, в результате чего образуется множество соединений, которые меняют продукт, - появляется аппетитный аромат, меняется вкус и др.) картина меняется: проникновение тепла внутрь становится более интенсивным, так как увеличивается пористость и снижается плотность зерен, а, значит, растет и теплопроводность. Управляя разностью температур при обжаривании, можно целенаправленно влиять на химический состав и, как следствие, на вкус готового напитка. По сути, обжарщик решает уравнение теплопроводности и от точности этого решения зависит, раскроется ли в чашке букет из нот шоколада, карамели или цитрусов.

Следующий этап - измельчение. Степень помола определяет площадь поверхности соприкосновения частиц кофе и воды. Чем мельче помол, тем больше площадь контакта, но и тем выше риск неравномерной экстракции. Большой разброс в размерах фракций приводит к тому, что одни частицы недоэкстрагируются (вкус водянистый), а другие переэкстрагируются (горечь). *Эксперты – доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Финансового университета при Правительстве Российской Федерации кандидат военных наук, доцент Зайцев О.Н. и профессор этой кафедры доктор технических наук, профессор Седнев В.А.* считают, что любопытный нюанс обнаружили исследователи: при заморозке кофе измельчается более равномерно, давая узкое распределение частиц по размерам. При комнатной температуре зерно разрушается менее предсказуемо. Замороженные зерна дают более мелкие фрагменты, что при неизменном рецепте ускоряет экстракцию и повышает риск переэкстракции.

Когда горячая вода встречается с молотым кофе, начинается главное физическое действо, - экстракция. В широком смысле это процесс разделения смеси твердых веществ с помощью растворителя; применительно к кофе - извлечение

вкусоароматических соединений из молотого зерна. На ход процесса влияют пять основных факторов: вода, температура, помол, давление и время.

Температура - один из самых тонких регуляторов. Оптимальный диапазон для заваривания 91-96 °C. При более высокой температуре экстракция дает более концентрированный напиток, усиливая кислотность и горечь. Но если перегреть воду, кислоты разрушаются, и кофе становится пресным и подгоревшим.

Давление выходит на первый план в эспрессо. Согласно стандартам Specialty Coffee Association, вода должна подаваться под давлением около 9 бар через таблетку из 7-9 граммов мелко смолотого кофе за 20-30 секунд. Однако на практике бариста настраивают давление, температуру и другие параметры по своему усмотрению, что приводит к огромной вариативности вкуса.

В мока-пот, гейзерной кофеварке, разворачивается термогидродинамический спектакль. Нагрев воды в закрытом резервуаре создает давление пара, которое продавливает горячую воду через слой кофе. Ученые построили математическую модель этого процесса, описывающую эволюцию температуры, давления и объема экстрагируемого напитка, которая предсказывает несколько режимов экстракции - от плавного до стремительного.

На поверхности чашки физика тоже не заканчивается. Кофейная пенка - смесь воды, воздуха и кофе. Она удерживается силами поверхностного натяжения. В эспрессо условия заваривания усиливают поверхностные явления - образование и стабилизацию пены и эмульсий, которые напрямую влияют на органолептические свойства напитка. Исследования показывают, что поверхностное натяжение кофе со временем заметно снижается, причем профиль этого снижения зависит от сорта - арабики или робусты.

«Для физика заваривание кофе - реактивный поток через сложную пористую среду, которая претерпевает динамическую реконфигурацию. Это поразительно сложное явление», - говорит Мацей Лисицкий из Варшавского университета. Исследователи из Пенсильванского университета задались вопросом: можно ли получить отличный кофе, используя меньше зерен? Они заменили кофейную гущу прозрачными частицами диоксида кремния и с помощью лазера и высокоскоростной камеры наблюдали, как струя воды создает «миниатюрные лавины» частиц. Вывод: вода должна литься с высоты, но не слишком большой, иначе струя разбивается на капли, уносящие воздух и снижающие эффективность экстракции. Оптимально - лить высоко, медленно и непрерывной струей.

Другая проблема, которую изучают физики, «каналирование» в эспрессо. При слишком мелком помоле вода не просачивается равномерно через кофейную таблетку, а пробивает каналы. Это приводит к неравномерной экстракции и ухудшению вкуса. Понимание гидродинамики потока через пористую среду помогает бариста избегать этого эффекта. Знание теплопереноса помогает обжарщику контролировать профиль вкуса. Понимание гидродинамики позволяет бариста выбрать технику заливки. Осознание роли поверхностного натяжения объясняет, почему у одних сортов пенка держится дольше, а у других опадает за секунды. Когда будете наблюдать за струйкой воды, просачивающейся сквозь кофейную гущу, или любоваться шапкой пенки на эспрессо, вспомните, что за этим ритуалом стоит не только искусство, но и фундаментальная физика.

Седнев В.А.,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности»
Финансового университета при Правительстве Российской Федерации
Зайцев О.Н.,
кандидат военных наук, доцент,
доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности»
Финансового университета при Правительстве Российской Федерации