



Андрій Варламов¹
доктор фіз.-мат. наук, професор,
науковий директор
Інституту надпровідників,
оксидів та інших інноваційних
матеріалів та пристроїв
Національної науково-дослідної
ради Італії (SPIN-CNR), м. Рим



Ян Чен
професор
факультету фізики
Університету “Фудан” у Шанхаї,
редактор серії
“Tracts in Modern Physics”
видавництва “Springer”,
м. Шанхай, Китай



Жу Женг
студент факультету фізики
Університету “Фудан” у Шанхаї,
м. Шанхай, Китай

ВАРИТИ, ПАРИТИ ЧИ ПОЛОСКАТИ?

Стрімка глобалізація, яка сьогодні охоплює весь світ, яскраво проявляється повсюдною доступністю страв найрізноманітніших національних кухонь. Як правило, це лише певна подоба справжніх шедеврів кулінарного мистецтва: крім майстерності кухаря для їхнього створення потрібні ще й відповідні продукти. Як каже наш знайомий італійський гастрономічний критик **Серджіо Граcco**: “*Їжа до людини не ходить, це людина повинна мандрувати до неї*”. Серед безлічі “гостей” європейської кухні можна назвати двох “родичів” добре знайомих нам пельменів — це *манти* і *хінкалі*. Перші традиційно відносяться до азійської кухні, в Сибіру вони вважаються національним блюдом². Хінкалі ж — неодмінний атрибут кавказького столу. І ті, й інші робляться з тонкого тіста і наповнюються м’ясною начинкою: манти — бараниною, а хінкалі зазвичай — яловичиною або свининою, приправленими різними спеціями та зеленню. Відрізняються вони і формою (див. рис. 1, 2). Грузинські господині традиційно ліплять хінкалі у такий спосіб, щоб на верхівці знаходився невеличкий “хвостик” з тіста. Так їх легше тримати. Зазвичай після поїдання хінкалі хвостик викидається.

Найважливішою різницею між мантами і хінкалі є спосіб їх теплової обробки. Якщо хінкалі звично варять у киплячій воді або смажать, то манти “*парять*” — готують при тих же 100 °С, але в атмосфері насиченої пари.

Ще один “заморський гість” — це “*гарячий горщик*”, популярний різновид китайської кухні, до сих пір майже невідомий у західному світі. Він був створений в Монголії понад тисячу років тому і завоював популярність за часів династії **Цін**³ по всьому Китаю. У пекінському варіанті “*гарячого горщика*” особлива увага приділяється суповий базі та соусам, чунцинський “*гарячий горщик*” освіжається прямими спеціями “*ма ла*” (麻辣, “*оніміння і прянощі*”), а “*гарячий горщик*” з Чаошан славиться миттєвим приготуванням в ньому найтонших скибочок баранини або яловичини (涮羊, “*полоскання баранини*”).

У гарячому горщику можна готувати майже все: м’ясні чи рибні тефтельки, крабове м’ясо, овочі. Їх кладуть у розташований посередині столу горщик, у якому вже кипить ретельно підготовлена супова основа. Тепер залишається тільки чекати, поки страва буде готова (див. рис. 3).

¹А. Варламов висловлює глибоку подяку за постійні обговорення і цінні поради С.Л. Парновському.

²З китайської мови слово “маньтоу” (так називають їх китайці) перекладається як “*начинена голова*”, оскільки манти за розмірами набагато більші від пельменів.

³Династія Цін (1644—1912) — остання з імператорських династій, що правила Китаєм.



Рис. 1. Хінкалі



Рис. 2. Манті



Рис. 3. Приготування їжі в гарячому горщику



Рис. 4. Схематичне зображення процесу денатурації білка при підвищенні температури

Весь процес приготування займає десяток хвилин (або близько того) і називається “*чжу*” (煮, “кипіння”). М'ясні тефтельки і овочі — це перше, що потрібно класти в горщик, і останнє, що слід діставати з його дна. Одночасно з “*чжу*” часто використовується згадана вище процедура “*шуан*” (涮, “полоскання” або “миттєве кипіння”). Тонко нарізані (близько 1 мм завтовшки) скибочки яловичини або баранини беруть довгими паличками і занурюють в киплячий суп. Вражає, що всього за 10 секунд їхній колір змінюється від рожевого до білого або сірого, вказуючи на те, що м'ясо вже готове до вживання. При цьому скибочку навіть не обов'язково випускати з паличок: смачну й ароматну їжу можна відразу скуштувати.

Сьогодні кулінарія стала не тільки гігантською індустрією, не тільки мистецтвом, але й великою галуззю науки. Тут перетинаються біологія, хімія, фізика, економіка, етика та ін. Завдання цієї науки нескінченні. Поряд із традиційними виникають нові методи приготування їжі. Ми навіть не намагаємось їх перерахувати: ні про приготування м'яса у мікрохвильовій печі, ні про запікання індички в печі зі специфічним інфрачервоним випромінюванням, ні навіть про приготування шашлику на вугіллі тут мова не йтиме. Давайте поговоримо про фізичні процеси, що лежать в основі приготування їжі, на прикладі описаних вище страв — про фізику варіння і готування на парі.

Варіння

У чому ж полягає процес варіння? Просто кажучи, сире м'ясо повинне стати вареним. А що означає це “*по-науковому*”? М'ясо в своїй основі містить складні органічні біомолекули, які називаються “*білками*” (вони відрізняються в залежності від типу м'яса). У сирому м'ясі ці довгі ланцюжки перебувають у стані клубків (див. рис. 4).

У процесі теплової обробки температура зростає, в результаті ці ланцюжки розпрямляються, а після досягнення певної для кожного типу м'яса температури переплітаються в деяку подовбу “*килимів*”. Такий процес називається “*денатурацією білка*”. Він відбувається при відносно низьких температурах: для м'яса це 55–85 °С, для риби ще менше. У будь-якому випадку кожен, хто хоч раз у житті їв суп харчо, знає, що кипіння при 100 °С виявляється достатнім для повної денатурації білка в м'ясі.

З точки зору фізики стан білка в сирому м'ясі відрізняється від вареного своєю енергією. Для того щоб перейти з одного стану в інший, слід перестрибнути через енергетичний бар'єр (див. рис. 5). При кімнатній температурі цей бар'єр високий. Підвищуючи температуру в процесі варіння, ми збільшуємо енергію білку, що показує його положення на рис. 5. Досягнувши вершини “*нагорба*” він перевалюється в новий стан — денатурований білок. М'ясо зварене!⁴

⁴Відзначимо, що останнім часом практикується приготування м'яса при відносно низьких температурах, так зване “*sous-vide*”. При цьому м'ясо поміщають у піч з температурою, трохи нижчою від температури його денатурації, і довго (багато годин, може бути — навіть добу) чекають. У кожній окремій макромолекулі не вистачає енергії самостійно перестрибнути через бар'єр. Однак вони зрідка можуть “запозичити” її у довкілля та денатурувати. Так, поступово, все м'ясо переходить в специфічний денатурований стан.

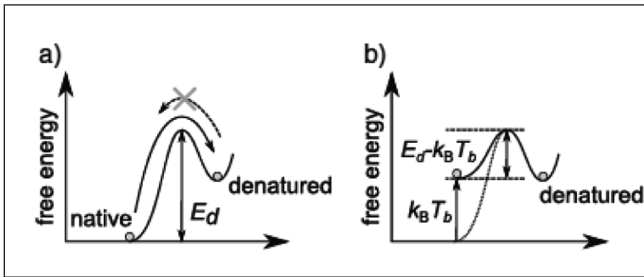


Рис. 5. Схематичне зображення процесу подолання білком енергетичного бар'єра при підвищенні температури

Отож, з точки зору фізики задача при варінні м'яса полягає в підвищенні температури по всьому об'єму шматка як мінімум до температури денатурації. Сформулюємо найпростішу модель процесу варіння м'яса. Нехай сферично симетричний однорідний шматок м'яса радіусом R з початковою температурою T_0 і коефіцієнтом теплопровідності поміщується в середовище, в якому підтримується фіксована температура T_k (див. рис. 6). Який час потрібен для того, щоб температура в центрі шматка м'яса (умовної кулі) досягла величини T_d ?

У фізиці процес передачі тепла в об'ємі кулі описується складним диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial T(r, t)}{\partial t} = \frac{\kappa}{\rho c} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T(r, t)}{\partial r} \right), \quad (1)$$

де T — температура в будь-якій точці куска r у момент часу t ; κ — коефіцієнт теплопровідності м'яса, ρ — його густина, c — питома теплоємність. До всього цього потрібно додати умову, що на поверхні шматка температура в будь-який момент часу залишається постійною і рівною 100°C :

$$T(r = R, \forall t) = 100^\circ\text{C}, \quad (2)$$

адже вода в каструлі кипить. Потрібно пам'ятати, що м'ясо ми брали з холодильника. Тому в момент, коли його опустили в воду, по всьому його об'єму температура була 4°C :

$$T(\forall r, t = 0) = 4^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Такі задачі математики давно навчилися розв'язувати і, знаючи чисельні значення коефіцієнта теплопровідності м'яса, його густини і питомої теплоємності, можна точно записати рецепт приготування бульйону. Проте спробуємо розібратися з цим, використовуючи метод аналізу розмірності. Температура денатурації м'яса за порядком величини відрізняється від температури кипіння води тільки на 20—25%. Тому ми будемо вважати, що час “транспортування” необхідної температури до центру кулі залежить лише від її матеріальних параметрів: коефіцієнта теплопровідності м'яса, його густини, питомої теплоємності та радіусу R . Тому будемо шукати залежність необхідного часу від розміру кулі у вигляді

$$\tau = \kappa^\alpha \rho^\beta c^\gamma R^\delta. \quad (4)$$

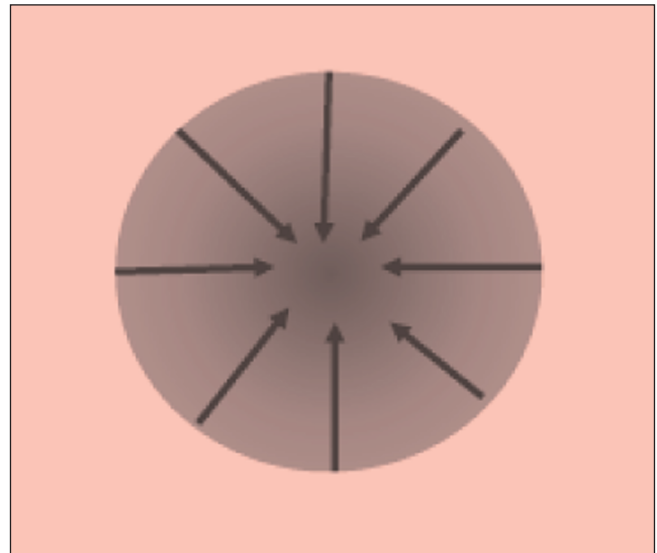


Рис. 6. Розповсюдження тепла в сферично симетричному шматку м'яса

Або, порівнюючи розмірності, запишемо

$$[\tau] = [\kappa]^\alpha [\rho]^\beta [c]^\gamma [R]^\delta \quad (5)$$

Розмірність теплопровідності $\epsilon [\kappa] = \frac{(\text{кг}\cdot\text{м})}{\text{с}^2\cdot\text{град}}$. Підставляючи всі розмірності в рівняння (5) і порівнюючи їх у правій і лівій частинах, знаходимо: $\alpha = -1$, $\beta = \gamma = 1$, $\delta = 2$. Звідси робимо висновок, що

$$\tau = C_0 \frac{\rho c}{\kappa} R^2. \quad (6)$$

де C_0 — невідома константа порядку одиниці. Підставляючи для м'яса величини $\kappa = 0,45 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, $\rho = 1,1 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$, $c = 2,8 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, знаходимо, що півкілограмовий шматок м'яса повинен варитися близько півтори години. Оцінка дещо завищена, оскільки ми не відрізняємо в її процесі температуру денатурації від температури кипіння, але за порядком величини реальна.

Повертаючись до хінкалі, діаметр якого дорівнює приблизно 4 см, знаходимо, що варити його потрібно десять хвилин, а дрібні пельмені — всього декілька хвилин, що й відповідає нашому життєвому досвіду.

Приготування на парі

Тепер перейдемо до приготування мантів.

Тут наша умовна куля розміщується в атмосфері стоградусної насиченої пари. Тиск у пароварці дорівнює атмосферному. За умови, що в пароварку забезпечується необхідний доступ пари, наш мант (або китайський пельмень з тонкою оболонкою), зроблений з рисового тіста (див. рис. 7), формально знаходиться в тих же умовах, що і хінкалі або пельмень у киплячій воді. Сам він — щойно з холодильника, а навколо — середовище з температурою 100°C . Тому, з точки зору математики, поширення тепла в ньому описується тим же рівнянням (1) з умовами (2) і (3). Отож, якщо умова (2) буде забезпечена, то і розподіл температури всередині манта в будь-який момент часу буде таким



Рис. 7. Китайські пельмені з рисового борошна, зварені на парі. Подаються до стіл у традиційному дерев'яному посуді

же, як і у хінкалі того ж розміру. Однак пара — не вода, тож як забезпечити на поверхні манта температуру в 100 °С?

У випадку хінкалі це було нескладно: хоча після його занурення в киплячу воду кипіння навколо нього тимчасово припиняється, однак завдяки великій теплоємності води, її достатній теплопровідності, конвекції і постійному підводу тепла до кастрюлі вода дуже швидко знову закипає, що і означає відновлення на поверхні хінкалі температури в 100 °С. Отже, у випадку хінкалі тепло передається за рахунок теплопровідності води.

Як відомо, основним способом поширення тепла в середовищі є механізм теплопровідності. Якщо два тіла з різними температурами знаходяться в контактi, то тепло “перетікає” від тіла з вищою температурою до тіла з більш низькою: $T_1 < T_2$. Мірою теплопровідності служить щільність теплового потоку, яка являє собою ту кількість тепла ΔQ , яке протікає через одиницю площі A в одиницю часу Δt у напрямку зміни температури $q = \Delta Q / A \Delta t$. Експеримент показує, що при невеликих різницях температур щільність теплового потоку q виявляється пропорційною різниці температур $\Delta T = T_2 - T_1$ на зразку і обернено пропорційною його довжині Δx :

$$q = \frac{\Delta Q}{A \Delta t} = \kappa \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (7)$$

Коефіцієнт κ , який уже зустрічався вище, називається “теплопровідністю” і входить у рівняння теплопровідності (1). Його величина залежить тільки від типу речовини і говорить про те, наскільки добре речовина проводить тепло. Строго кажучи, густина теплового потоку q є вектором, спрямованим у випадку ізотропного середовища проти вектора зміни (градієнта) температури: $q = -\kappa \nabla T$. Це рівняння називається “законом Фур'є”.

У випадку ж манта, поміщеного в атмосферу насиченої пари, все не так просто. Тут теплопередача має зовсім інший характер. У перший момент молекули пари поблизу ще холодної поверхні манта знаходяться в локальному стані сильно пересиченої пари. Вони починають на цій поверхні конденсуватися, підвищуючи при цьому її температуру. Припускаючи, що стрибок температур відбувається в дуже вузькій

області поблизу поверхні, ми повертаємося до того ж рівняння (1). Розподіл температури всередині манта має змінюватися з часом у киплячій воді, як і у випадку з хінкалі. Отже, і потік тепла

$$q(r, t) = -\kappa \frac{\partial T(r, t)}{\partial r} \quad (8)$$

на його поверхні повинен бути тим же. Але тепер цей потік забезпечується не теплопровідністю води, а кількістю молекул пари, які осідають на 1 см² поверхні за одну секунду:

$$q(R, t) = r \delta m(t) = r \frac{\mu_{H_2O}}{N_A} \delta N(t), \quad (9)$$

де r — питома теплота випаровування; $\delta N(t)$ — число конденсованих тут за останню секунду молекул; $\delta m(t)$ — їх маса; N_A — число Авогадро; μ_{H_2O} — молекулярна маса води. Таким чином, число молекул, які “приземлюються” на одному квадратному сантиметрі манта в одну секунду, повинно бути таким:

$$\delta N(t) = N_A \frac{\kappa}{r \cdot \mu_{H_2O}} \left(\frac{\partial T(r, t)}{\partial r} \right)_{r=R} \quad (10)$$

Якщо математики знаходять це число шляхом вирішення складного рівняння, то манта сам “знає”, який саме потік тепла йому потрібен, щоб підтримувати на поверхні температуру $T = 100$ °С. Залишилося лише з'ясувати, звідки молекули пари “дізнаються” про те, скільком з них слід сконденсуватися в дану секунду на квадратному сантиметрі поверхні манта? Давайте припустимо, що в певний момент тут конденсуються не $N(t)$, а $N(t) + \delta N$ молекул. Перші $N(t)$ з них гостинно поглинаються мантом — адже вони необхідні, щоб утримувати в гармонії стоградусну поверхню і ще холодну внутрішню частину. Решта молекул є персонами “nongrata”: їх тут не чекали, теплопровідність манта не дозволяє пропустити їх усередину. Що ж їм залишається робити? Повернутися назад у газову фазу? Занадто клопітно, тому вони залишаються на поверхні, локально підвищуючи її температуру (див. рис. 8).

Точка, відповідна локальній рівновазі пари і води на обраному квадратному сантиметрі, пересувається по лінії співіснування пари і води вгору. При цьому

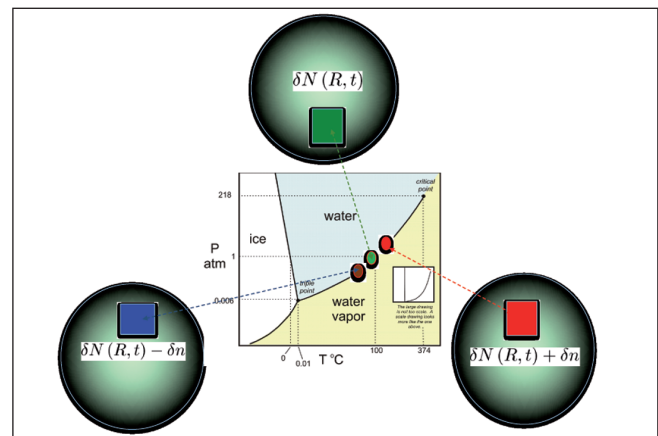


Рис. 8. Схематичне зображення процесу передачі тепла манта при приготування його в атмосфері насиченої пари

тиск залишається без змін — рівним 1 атм. Отже, над обраним квадратним сантиметром пара локально перестає бути насиченою. Як наслідок, в наступний момент тут сконденсується вже не необхідна кількість молекул $\delta N(t+1s)$, а дещо менша. При цьому мант продовжує “вимагати” належну йому кількість тепла. Як наслідок, температура поверхні, що підвищилася при локальному перегріванні, піде вниз. Той же механізм повернення температури до 100 °C працює і при випадковій нестачі молекул, які конденсуються за секунду $\delta N(t) - \delta n$ (рис. 8). Подібний механізм повернення системи в заданий режим при випадкових відхиленнях називається “негативним зворотним зв’язком”.

Гарячий горщик

На початку статті ми розповіли про “гарячий горщик” і про різні способи приготування їжі в ньому. Загадковим залишається питання: чому в десятки разів відрізняється час приготування не яловичих і баранячих фрикадельок, що можна зрозуміти, а тонкої скибочки і фрикадельки, виготовленої з того ж м’яса? Чому маслянистий суп хонгоу в чунцинському горщику закипає набагато швидше рідкого супу циндао в його чаошанському і пекінському варіантах? На ці запитання ми намагатимемося відповісти нижче.

Про час приготування

Обидва способи приготування в гарячому горщику — “шуан” і “чжу” — насправді є одним і тим же термічним процесом, який ми вже обговорили вище. В обох випадках конвекція навколишньої рідини і її безперервне нагрівання гарантують постійну температуру $T = 100$ °C на поверхні спочатку холодних фрикадельки або скибочки м’яса. Як наслідок, потік тепла поширюється від неї всередину, підвищуючи температуру на своєму шляху і приводячи до денатурації білків. Звідки ж виникає настільки велика різниця в часі приготування фрикадельки і полоскання тонкої м’ясної стрічки? Зі способом приготування “шуан” все зрозуміло: про поширення тепла в кулі, яка є моделлю фрикадельки, ми вже ознайомили читача вище, обговорюючи варіння хінкалі, і можемо скористатися зробленими там оцінками. А процес “чжу” вимагає окремого розгляду.

Розглянемо півпростір: $x > 0$, температура якого постійна і дорівнює T_1 . Припустимо, що в початковий момент часу $t = 0$ температура на всій площині $x = 0$ стрибком підвищується до T_2 і в подальшому зовнішніми факторами (нагріванням, конвекцією) підтримується при цьому значенні. У такій геометрії також можна вирішити рівняння теплопровідності (1) і визначити, як температура змінюється в розглянутому півпросторі з часом (див. рис. 9).

На рисунку показано, як розподіл температури змінюється з часом. Температура “проникає” в середовище поступово. Для опису закону цього проник-

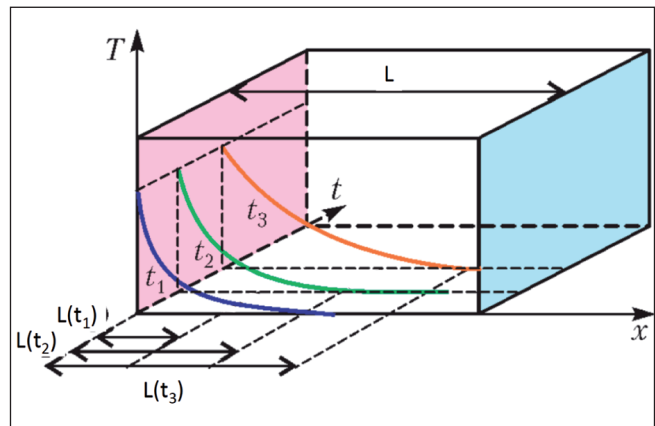


Рис. 9. Зміна температури в залежності від часу поблизу кордону півпростору

нення в часі давайте введемо характерну довжину $L(t)$. Звертаючись до закону Фур’є (7) замінимо товщину Δx на характерну довжину проникнення температурного фронту в півпростір, а також прийнемо $\Delta Q = mc\Delta T$, де $m = \rho AL(t)$ — маса циліндра з основою одиничної площі A :

$$\frac{c\rho AL(t)\Delta T}{\Delta t} = \kappa \frac{\Delta T}{L(t)}. \quad (11)$$

Звідси вже легко знайти довжину

$$L(t) \sim \sqrt{\frac{\kappa t}{c\rho}} = \sqrt{\chi t}. \quad (12)$$

яка називається “тепловою довжиною”. Більш правильний розгляд, заснований на розв’язку рівняння теплопровідності, уточнює лише чисельний коефіцієнт:

$$L(t) = \sqrt{\pi\chi t}. \quad (13)$$

Таким чином ми бачимо, що температура “проникає” в середовище з часом згідно з кореневим законом. Параметр $\chi = k/c\rho$ називається “коефіцієнтом температуро-провідності”⁵. Час приготування шматка м’яса (5) тепер може бути переписаний як функція його характерного розміру:

$$\tau \sim L^2 / \pi\chi. \quad (14)$$

Тепер можна повернутися до пояснення різкої розбіжності між часом “полоскання” тонкої скибочки м’яса і кип’ятіння фрикадельки. Нехай маса прямокутної скибочки $a \cdot b$ товщиною d співпадає з масою фрикадельки радіусу r_ϕ . Процес денатурації м’яса вимагає, щоб відповідна температура T_0 встановилася в найвіддаленіших від поверхні точках. Таким чином, для скибочки м’яса температурний фронт, відповідний температурі денатурації, повинен пройти половину її товщини $d/2$ з обох сторін, а для фрикадельки — пройти вздовж її радіуса r_ϕ . Відповідні часи для цих процедур:

⁵Температуропровідність — фізична величина, що характеризує швидкість зміни (вирівнювання) температури речовини в нерівноважних теплових процесах.

$$\tau_{\text{чжу}} \sim \frac{(d/2)^2}{\pi\chi}, \quad \tau_{\text{шуан}} \sim \frac{r_{\phi}^2}{\pi\chi}. \quad (15)$$

Їхнє відношення запишемо як

$$\frac{\tau_{\text{шуан}}}{\tau_{\text{чжу}}} \sim \left(\frac{2r_{\phi}}{d}\right)^2. \quad (16)$$

Товщина скибочки при приготуванні в гарячому горщику способом “чжу” становить всього лише 1 мм. Беручи останні розміри смужки $a = 3$ см і $b = 15$ см, знаходимо, що її об’єм становить $a \cdot b \cdot d = 4,5$ см³, тобто її маса становить близько п’яти грам. Радіус фрикадельки тієї ж маси буде приблизно $r_{\phi} = 1,0$ см. Таким чином, теоретична оцінка величини співвідношення між часом приготування фрикадельки і тонкого скибочки є:

$$\left(\frac{\tau_{\text{шуан}}}{\tau_{\text{чжу}}}\right)_{\text{оц.}} \sim \left(\frac{2r_{\phi}}{d}\right)^2 \sim 400. \quad (17)$$

При цьому, як уже зазначалося вище, типовий реалістичний час приготування м’ясної кульки (ми говорили вище про пельмені) — це 3—4 хвилини. Для скибочки м’яса ця величина становить лише 10 секунд, що призводить до значення співвідношення (17)

$$\left(\frac{\tau_{\text{шуан}}}{\tau_{\text{чжу}}}\right)_{\text{реал}} \sim 20 - 25. \quad (18)$$

Різниця між оцінками (17) і (18) становить 20 разів, що досить багато. Досі нам вдавалися робити оцінки точніше.

Причина такої розбіжності полягає в нашому припущенні, що все тепло, яке проникає в фрикадельку або скибочку м’яса, йде на їх нагрівання. При цьому ми “забули” про ті хімічні процеси, які змінюють структуру білка, але ж вони також вимагають енергії і часу. Коли шматок м’яса відносно великий (нехай це буде м’ясна кістка в борщі або хінкалі), то цим часом $\tau_{\text{хім}}$ можна знехтувати, що ми і робили вище. Однак при розгляді способу “чжу” приготування м’яса в горщику, зважаючи на малу товщини скибочки, процес проникнення тепла в останню відбувається настільки швидко, що при порівнянні дослідного і теоретичного значень поруч з часом проникнення тепла слід додати і відповідний час $\tau_{\text{хім}}$:

$$\tau_{\text{чжу}}' = \tau_{\text{хім}} + \frac{(d/2)^2}{\pi\chi}, \quad \tau_{\text{шуан}}' = \tau_{\text{хім}} + \frac{r_{\phi}^2}{\pi\chi}. \quad (19)$$

Величини других доданків у цих формулах можуть бути оцінені з використанням значення $\chi_{\text{м}} \sim 3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$ як $(1/2 \cdot d)^2 / \pi\chi \sim 0,5$ с. Вище вже говорилося, що типовий час приготування тонкої скибочки в гарячому горщику становить 10 секунд, що приводить нас до значення $\tau_{\text{хім}}$ приблизно 10 с. Ця величина, звичайно ж, є малою в порівнянні з трьома хвилинами, необхідними для встановлення температури вище необхідної для денатурації у всьому обсязі фрикадельки, однак виявляється визначальною при полосканні скибочки м’яса в гарячому горщику “чжу”.

Про роль супу

Фізичні властивості супу, який використовується в тому чи іншому типі “гарячого горщика”, також істотно визначають специфіку виникаючих у них процесів. Так, в чунцинському горщику супова основа “хонгоу” складається в основному з тушкованих з невеликою кількістю води та олії китайської колчогої золи та чилі. Навпаки, звичайна супова основа “циндао” в основному складається з води, змішаної для створення пряного смаку з невеликою кількістю олії, солі та інших приправ. Якщо в однакові горщики налити однакові обсяги супових основ хонгоу та циндао і поставити на вогонь, то перша з них, яка в основному складається з олії, закипить раніше, ніж друга. Цей факт здається дещо дивним — адже олія, якщо і кипить, то лише при температурах, значно вищих температури кипіння води.

Пояснення цьому дуже просте. Справа в тому, що і в першому, і в другому випадках кипить не олія, а вода, змішана в більшій чи меншій пропорції з олією. При цьому є три причини, які обумовлюють більш швидке закипання горщика з суповою основою хонгоу. По-перше, питома теплоємність олії помітно менша від питомої теплоємності води, відповідно $c_0 = 2 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, і, отже, для підвищення температури одиниці маси супу хонгоу від кімнатної температури до 100°C потрібно менше половини кількості тепла, що витрачається при нагріванні циндао. По-друге, густина олії, як і її теплоємність, помітно менша від цих же характеристик води, тому при рівних обсягах маса супу хонгоу виявиться меншою. Це ще один фактор, що прискорює доведення горщика з хонгоу до кипіння швидше. Остання, третя, обставина стосується процесу втрати тепла з поверхні супу при нагріванні горщика. Втрата тепла в значній мірі визначається конвекцією — переносом енергії завдяки потокам нагрітої речовини, які виникають у нерівномірно нагрітій рідині за рахунок відмінності густини її шарів.

Тепловий потік на поверхні якісно описується законом охолодження Ньютона, який стверджує, що останній є пропорційним до різниці температур:

$$q = h\Delta T. \quad (20)$$

Коефіцієнт h називається “коефіцієнтом тепловіддачі”. Він описує, наскільки сильна роль конвекції. Типові величини коефіцієнта тепловіддачі для киплячої води і олії є однаковими: $h_{\text{в}} = (2,5 \sim 25) \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ і $h_0 = (0,5 \sim 15) \cdot 10 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ відповідно. Така величезна різниця (на два порядки) пов’язана з великою в’язкістю і поганою теплопровідністю олії. Тому стає зрозумілим, що тепло з поверхні маслянистого хонгоу втрачається набагато повільніше, ніж з супу циндао, який містить великий відсоток води.

Китайська кухня — одна з найбагатших і найцікавіших у світі. Тут їдять все, або майже все. І способи приготування їжі дуже різні. У цій статті ми зазирнули лише в маленьке віконце цього величезного світу.

Маньмань чі! Смачного (їжте повільно)! ■