

ЛУННАЯ ОРБИТАЛЬНАЯ СТАНЦИЯ

имени Константина Эдуардовича Циолковского

Открытое занятие по физике
(группа 1ПК1)

24 апреля 2025 г.

Преподаватель Красин Игорь Геннадьевич

№ пп	Наименование группы	Учащийся
6	Сигма (σ)	Демьянова Анастасия Соловьева Александра Филатов Максим Филиппов Пётр

Технологическая карта

Приготовление мороженого в условиях лунной станции (1/6 g)

1. Особенности приготовления в низкой гравитации

Конвекция слабее → замедленный теплообмен, требуется активное перемешивание.
Испарение жидкости происходит иначе → возможны изменения текстуры.
Пена и пузырьки воздуха хуже поднимаются → риск неравномерной структуры.
Кристаллизация льда может быть неравномерной.

2. Адаптированная рецептура (на 4 порции)

Ингредиент	Количество	Примечание
Молоко (3,2%)	200 мл	Можно заменить на соевое/миндальное
Сливки (20%)	100 мл	Для жирности и текстуры
Сахар	50 г	Можно заменить на мёд/стевию
Яичные желтки	2 шт.	Эмульгатор, структура
Ванильный экстракт	1 ч.л.	Для аромата
Стабилизатор (гуаровая камедь)	0,5 г	Для предотвращения кристаллизации

3. Технологическая карта приготовления

Этап	Описание	Физические процессы	Оборудование
1. Смешивание	Соединить молоко, сливки, сахар, нагреть до 60°C	Растворение сахара, денатурация белков	Магнитная мешалка с подогревом
2. Эмульгирование	Ввести желтки, ваниль, стабилизатор, нагреть до 85°C (пастеризация)	Коагуляция белков, формирование эмульсии	Ультразвуковой гомогенизатор
3. Охлаждение	Быстро охладить до 4°C (во избежание бактериального роста)	Теплопередача в вакуумированном холодильнике	Криоохладитель с жидким азотом
4. Взбивание	Взбивать в мороженице при -5°C, насыщая воздухом (оверран 30%)	Формирование мелких кристаллов льда, аэрация	Центробежный миксер с вакуумным отбором воздуха
5. Закаливание	Дозаморозка при -25°C в течение 2 часов	Кристаллизация воды, стабилизация структуры	Криогенная камера

4. Физические формулы и расчеты

Теплообмен при охлаждении смеси:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

где

c — удельная теплоёмкость смеси (~3,8 кДж/кг·К),

m — масса,

ΔT — разница температур.

Скорость кристаллизации льда:

$$V_{\text{crys}} \propto (D \cdot \Delta T) / d$$

D — коэффициент диффузии,

ΔT — переохлаждение,

d — размер кристаллов.

При 1/6g кристаллы растут медленнее.

Аэрация (оверран):

$$\text{Оверран} = (V_{\text{mix}} / V_{\text{air}}) \cdot 100\%$$

В невесомости требуется принудительное перемешивание для равномерного распределения пузырьков.

Испарение жидкости:

$$P_{\text{исп}} = P_{\text{нас}} e^{-\frac{L}{RT}}$$

На Луне из-за вакуума испарение ускоряется → необходимо герметичное оборудование.

5. Вывод

Приготовление мороженого на Луне требует:

Активного механического перемешивания (из-за слабой конвекции).

Контроля кристаллизации (стабилизаторы, быстрое охлаждение).

Герметичных условий для предотвращения потери влаги.

Оптимальный метод — использование криогенного охлаждения и вакуумных миксеров.

Оверран (overrun) — это ключевой технологический параметр в производстве мороженого, который показывает, насколько увеличился объем смеси за счет взбивания воздуха.

1. Определение и формула

Оверран выражается в процентах и рассчитывается по формуле:

$$\text{Оверран (\%)} = (V_{\text{конечный}} - V_{\text{начальный}}) / V_{\text{начальный}} \times 100\%$$

где:

$V_{\text{начальный}}$ — объем смеси до взбивания,

$V_{\text{конечный}}$ — объем мороженого после насыщения воздухом.

Пример:

Если из 1 литра смеси получилось 1,5 литра мороженого, то:

$$\text{Оверран} = (1,5 - 1) / 1 \times 100\% = 50\%$$

2. Влияние на качество мороженого

Высокий оверран (80–100%) → Мороженое легкое, воздушное, но может быть "ватным" и менее насыщенным по вкусу.

Низкий оверран (20–40%) → Плотное, кремовое, но тяжелое и менее нежное.

Оптимальный оверран для классического мороженого — **30–50%**.

3. Особенности в лунных условиях (1/6 g)

Слабая гравитация затрудняет естественное вспенивание → требуется принудительная аэрация (например, вакуумные миксеры).

Воздух хуже удерживается → нужны стабилизаторы (гуаровая камедь, яичные белки).

Риск неравномерной структуры → важно контролировать время и скорость взбивания.

4. Как измерить оверран?

Взвесить смесь до и после взбивания (плотность изменится).

Использовать формулу через плотности:

$$\text{Оверран (\%)} = (\rho_{\text{смеси}} / \rho_{\text{мороженого}} - 1) \times 100\%$$

Вывод

Оверран — критически важный параметр для текстуры мороженого. На Луне его сложнее добиться из-за низкой гравитации, поэтому потребуются специальные технологии взбивания и стабилизаторы.

Примечание:

В формуле $P_{\text{исп}} = P_{\text{нас}} e^{-\frac{L}{RT}}$

L — это **молярная теплота парообразования** (или **удельная теплота испарения**) вещества.

Физический смысл L

Это количество энергии, необходимое для испарения **1 моля** жидкости без изменения температуры (при постоянном давлении).

Единицы измерения: **Дж/моль** (в СИ) или иногда **кДж/кг** (если речь о удельной теплоте).

Для воды при 100°C: $L \approx 40,7 \text{ кДж/моль}$.

Роль в формуле

Формула описывает **давление насыщенного пара** ($P_{\text{нас}}$) и его зависимость от температуры (T):

$P_{\text{исп}}$ — текущее давление пара,

R — универсальная газовая постоянная (),

T — абсолютная температура (в Кельвинах).

Экспоненциальный член $e^{-\frac{L}{RT}}$ показывает, как быстро испарение замедляется при понижении температуры.

Применительно к мороженому на Луне

В условиях вакуума ($P_{\text{внеш}} \approx 0$) испарение жидкости из смеси будет происходить очень интенсивно.

Чтобы предотвратить потерю влаги, нужно либо:

Герметизировать процесс,

Учитывать L для выбора температурного режима (чем выше L , тем стабильнее жидкость).

Альтернативные формы записи

Иногда используют **уравнение Клаузиуса-Клапейрона** в интегральной форме:

$$\ln(P_2/P_1) = -L/R \cdot (1/T_2 - 1/T_1)$$

где L также выступает как теплота фазового перехода.

Вывод

В вашей формуле L — это энергия, которую нужно преодолеть молекулам жидкости для перехода в газовую фазу.

На Луне, где внешнее давление близко к нулю, этот параметр особенно важен для расчёта потерь влаги при хранении и приготовлении мороженого.