

Карагандинский технический университет им. А. Сагинова

Кафедра «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Дисциплина
«Введение в теоретические основы полевых геофизических
методов»

Специальность 6В07201
«Геология и разведка месторождений полезных
ископаемых»

Лекция 3
«Гравитационное поле Земли и его элементы»

Разработчик:

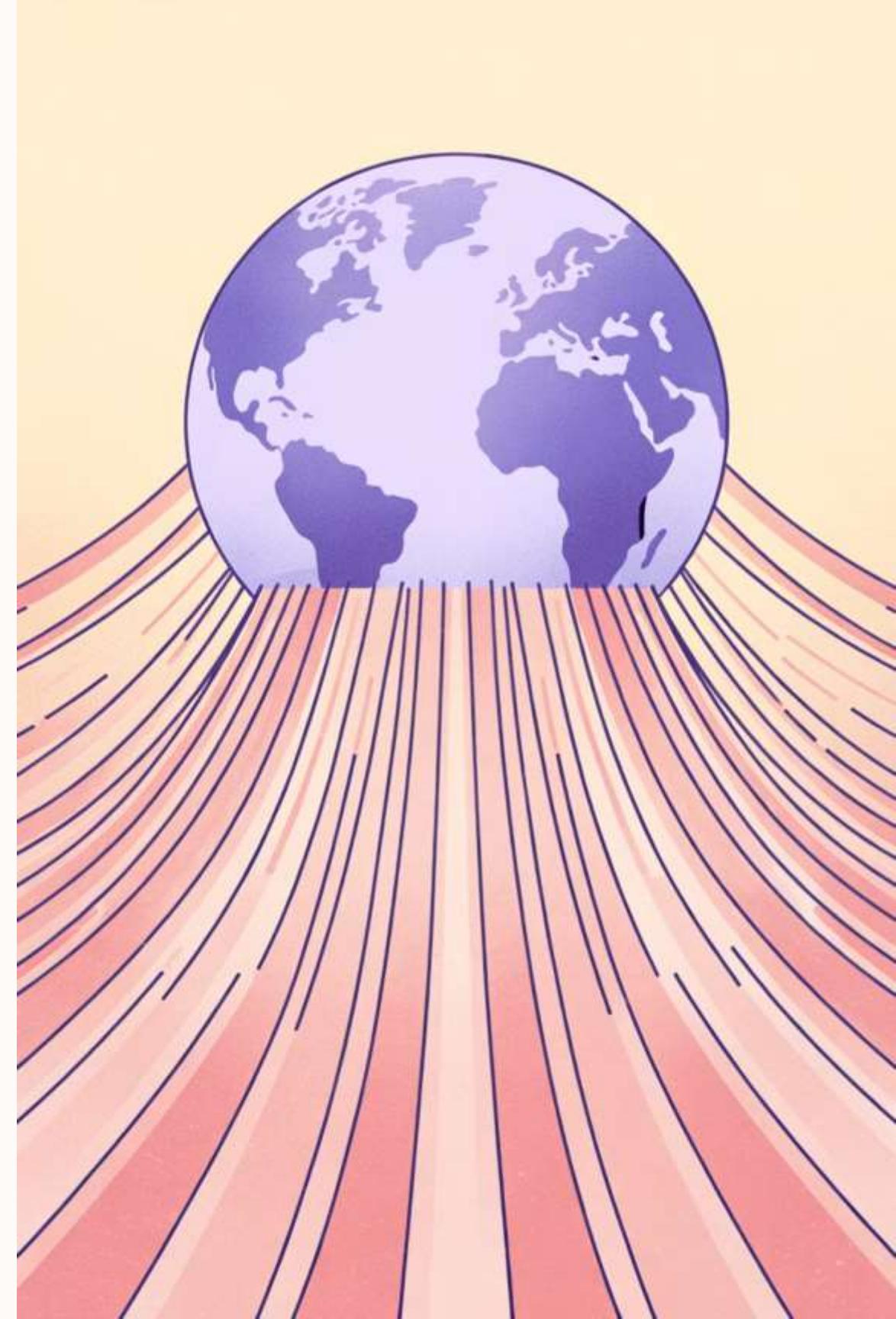
Мадишева Р.К., PhD
Ассоциированный профессор
каф. ГРМПИ

Караганда 2025



Гравитационное поле Земли

Гравиметрический метод изучает естественное поле силы тяжести на земной поверхности для определения распределения масс различной плотности в земной коре.



Сила тяжести: определение и компоненты

Сила тяжести — это результирующая двух сил: притяжения Земли и центробежной силы, возникающей при вращении планеты.

Сила притяжения

Взаимодействие между массой Земли и элементарной массой по закону Ньютона.

Центробежная сила

Возникает при вращении Земли, максимальна на экваторе (1/396 от притяжения).

Результирующая

Векторная сумма обеих сил определяет полную силу тяжести в точке.

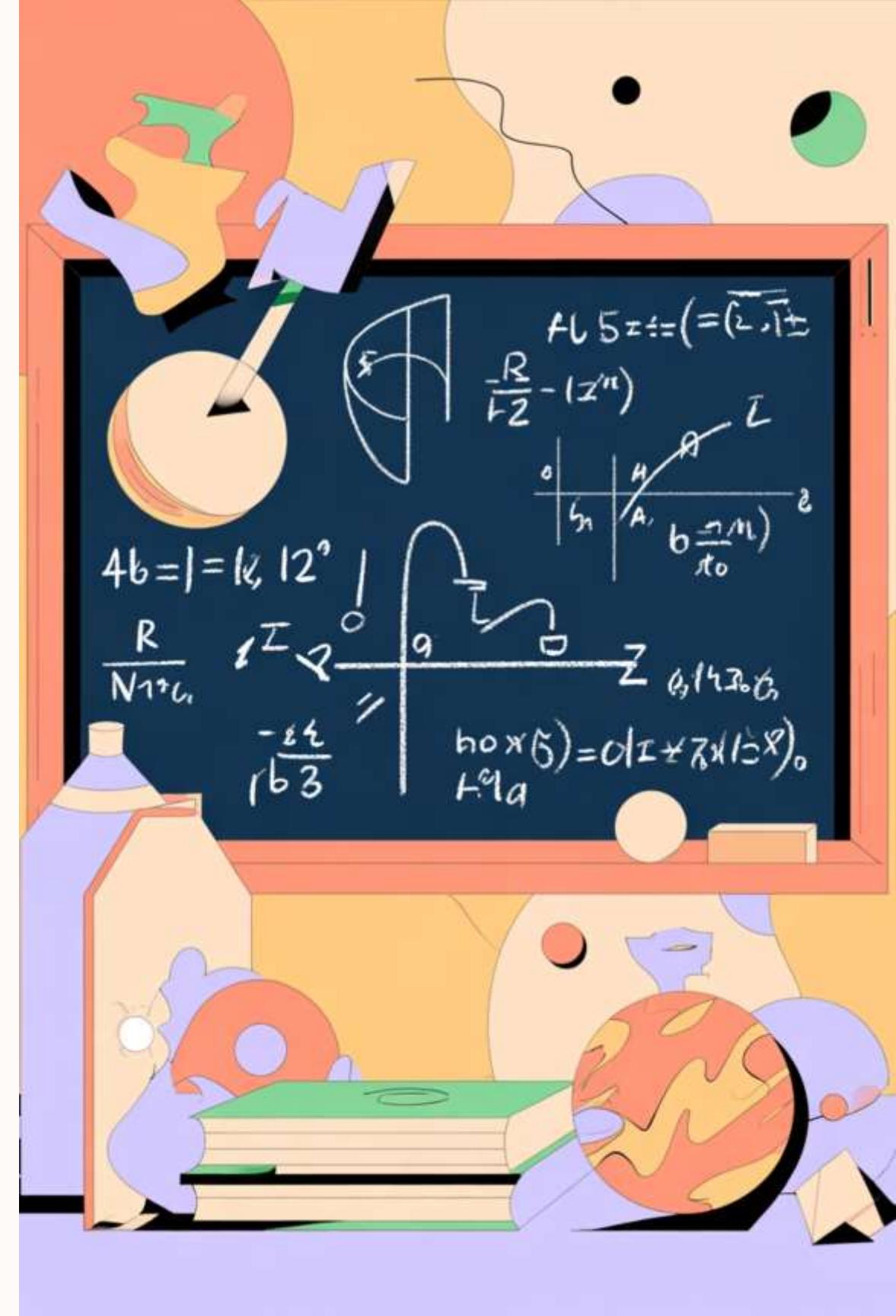


Математическое выражение силы тяжести

Численная величина силы тяжести выражается формулой:

$$G = k \frac{dm}{r^2} \frac{M}{r^2} + \omega^2 \rho$$

где $k = 6,67 \cdot 10^{-12}$ м³/кг·с² — гравитационная постоянная, ω — угловая скорость вращения Земли, ρ — расстояние от оси вращения.



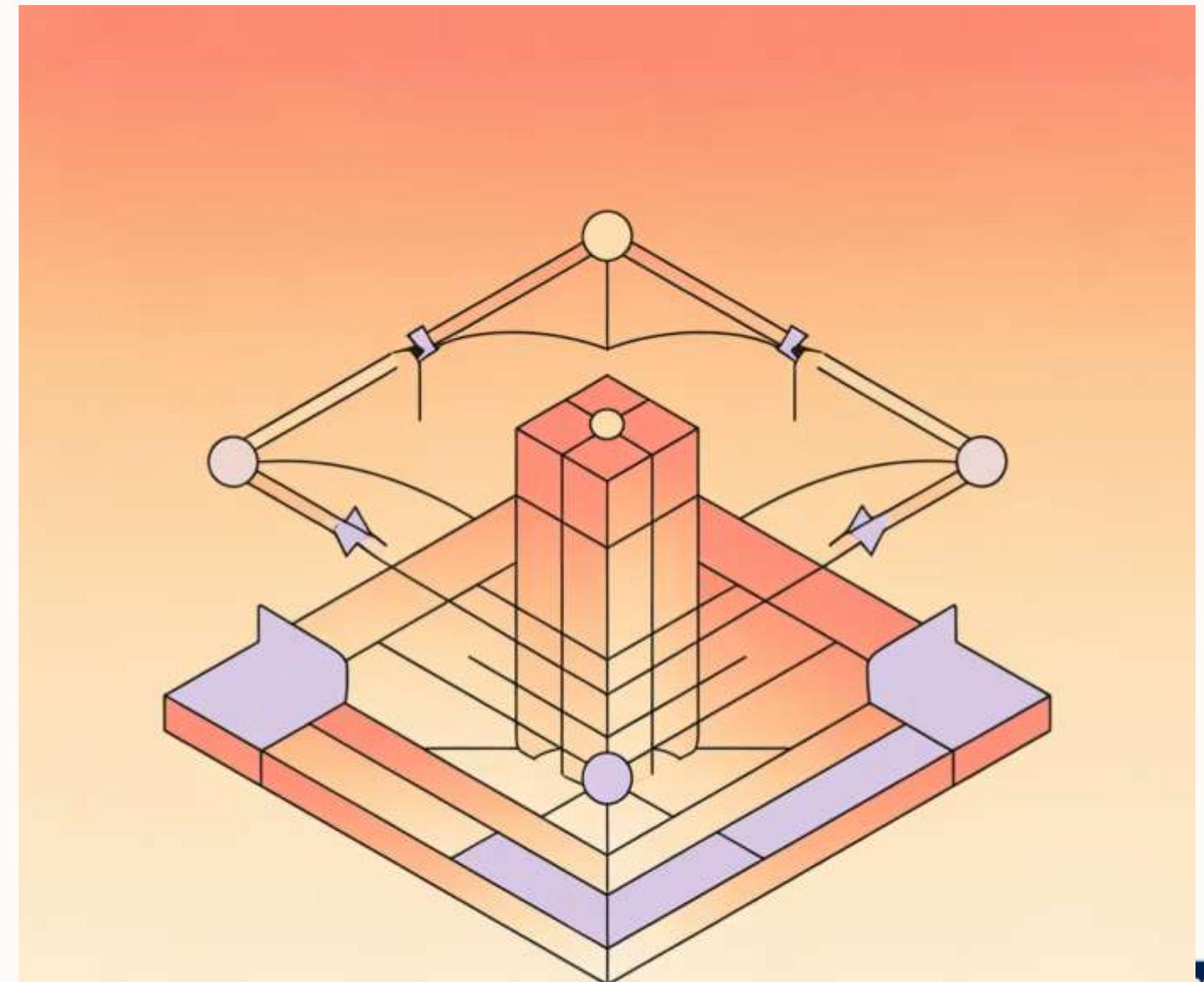
Напряженность гравитационного поля

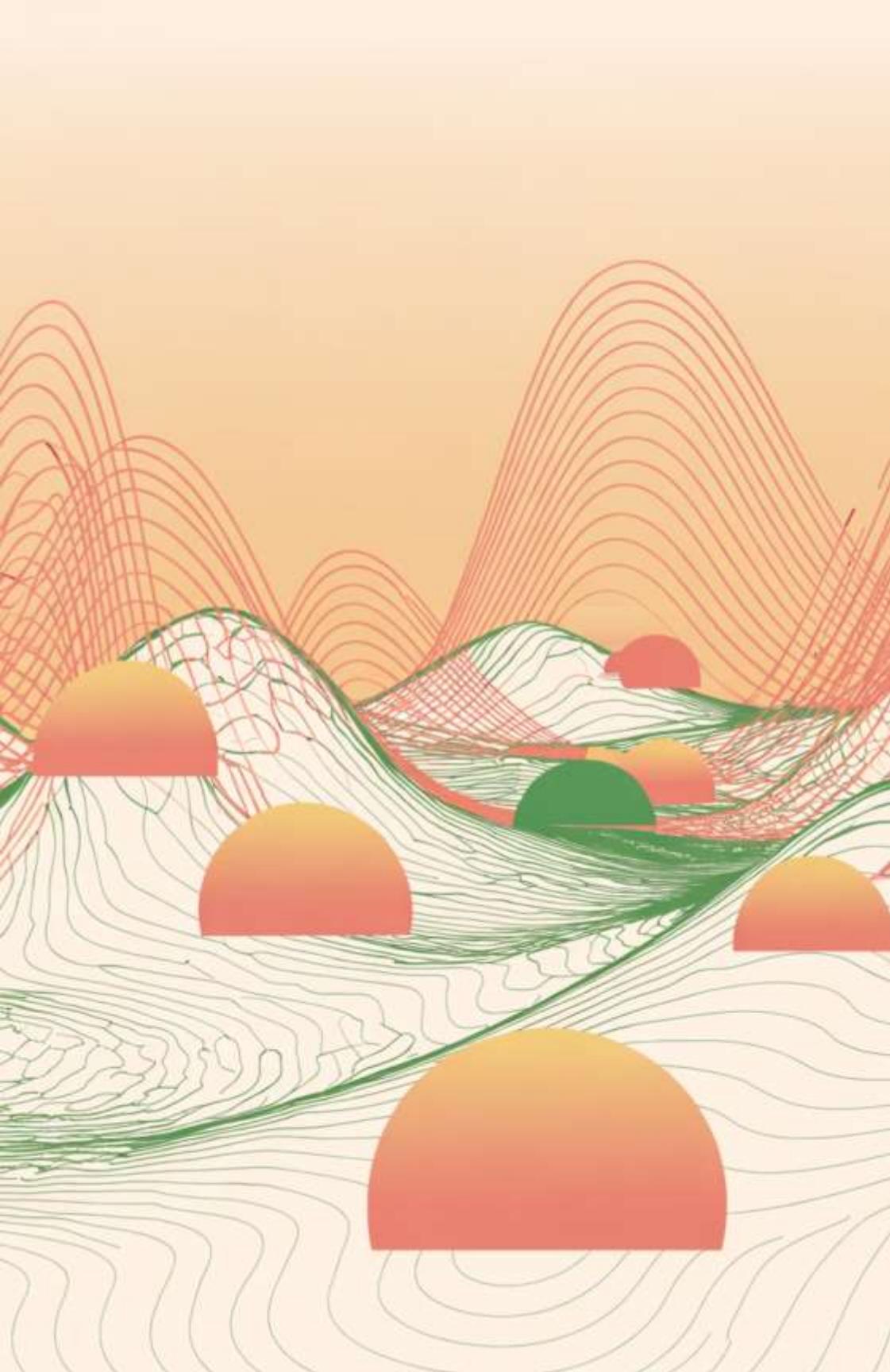
Напряженность поля — это сила, действующая на единичную массу. Численно она равна ускорению свободного падения:

$$g = \frac{kM}{r^2}$$

Проекции напряженности

- По оси X: $F_x = kMx/(x^2+y^2+z^2)^{(3/2)}$
- По оси Y: $F_y = kMy/(x^2+y^2+z^2)^{(3/2)}$
- По оси Z: $F_z = kMz/(x^2+y^2+z^2)^{(3/2)}$





Потенциальная функция гравитационного поля

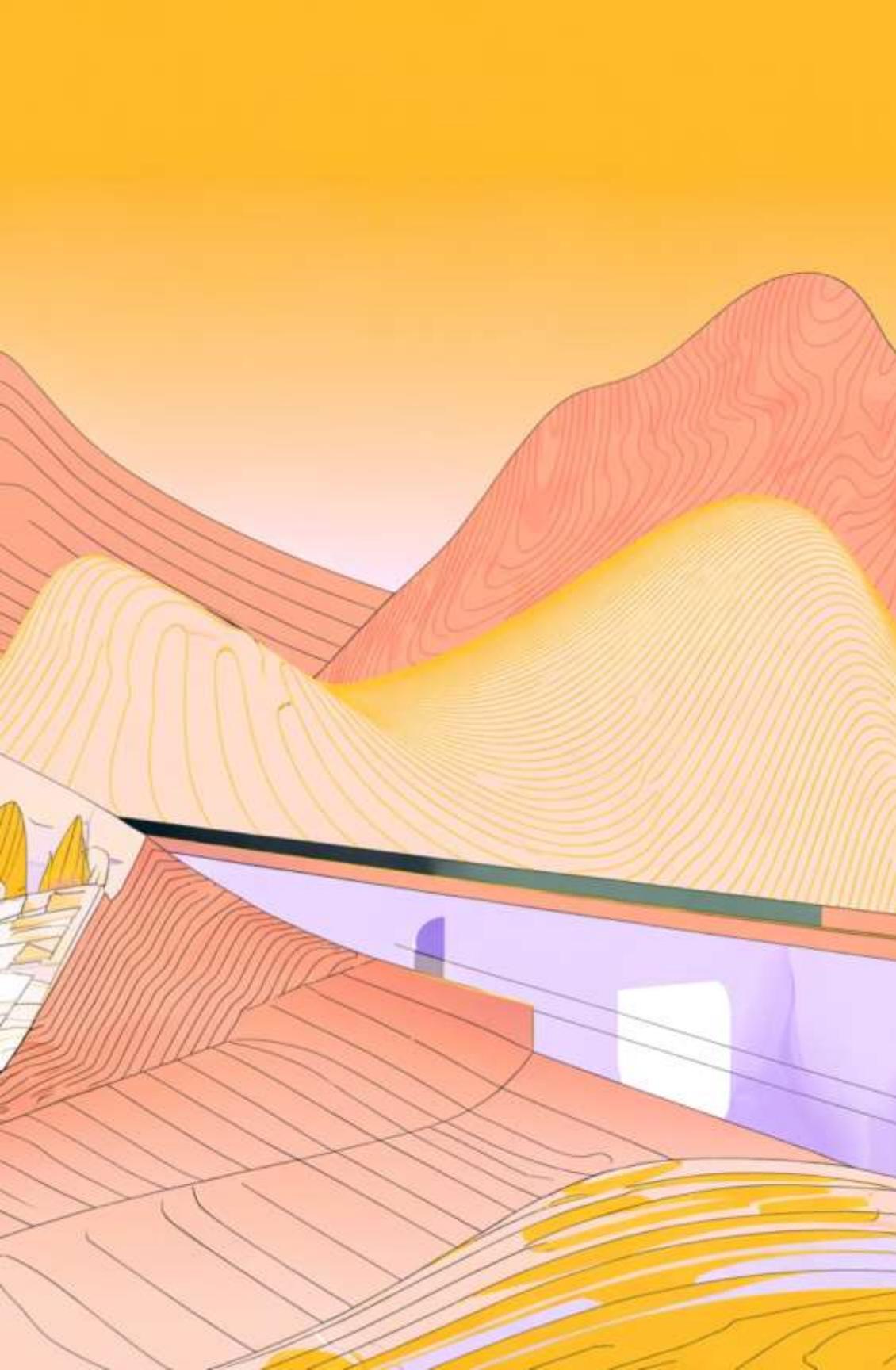
Потенциальная функция $W = kM/r$ характеризует гравитационное поле. Её первые производные по координатам равны компонентам силы тяжести:

Связь с силой тяжести

$$\frac{\partial W}{\partial x} = -F_x; \frac{\partial W}{\partial y} = -F_y; \frac{\partial W}{\partial z} = -F_z$$

Работа силы тяжести

Потенциал — это работа по перемещению единичной массы из бесконечности в данную точку.



Эквипотенциальные поверхности

Эквипотенциальная поверхность ($W = \text{const}$) совпадает с поверхностью свободной жидкости и называется уровенной поверхностью. На ней сила тяжести везде перпендикулярна поверхности.

- ❑ Уровенная поверхность — это поверхность, на которой потенциал гравитационного поля постоянен.



Вторые производные потенциала: градиенты

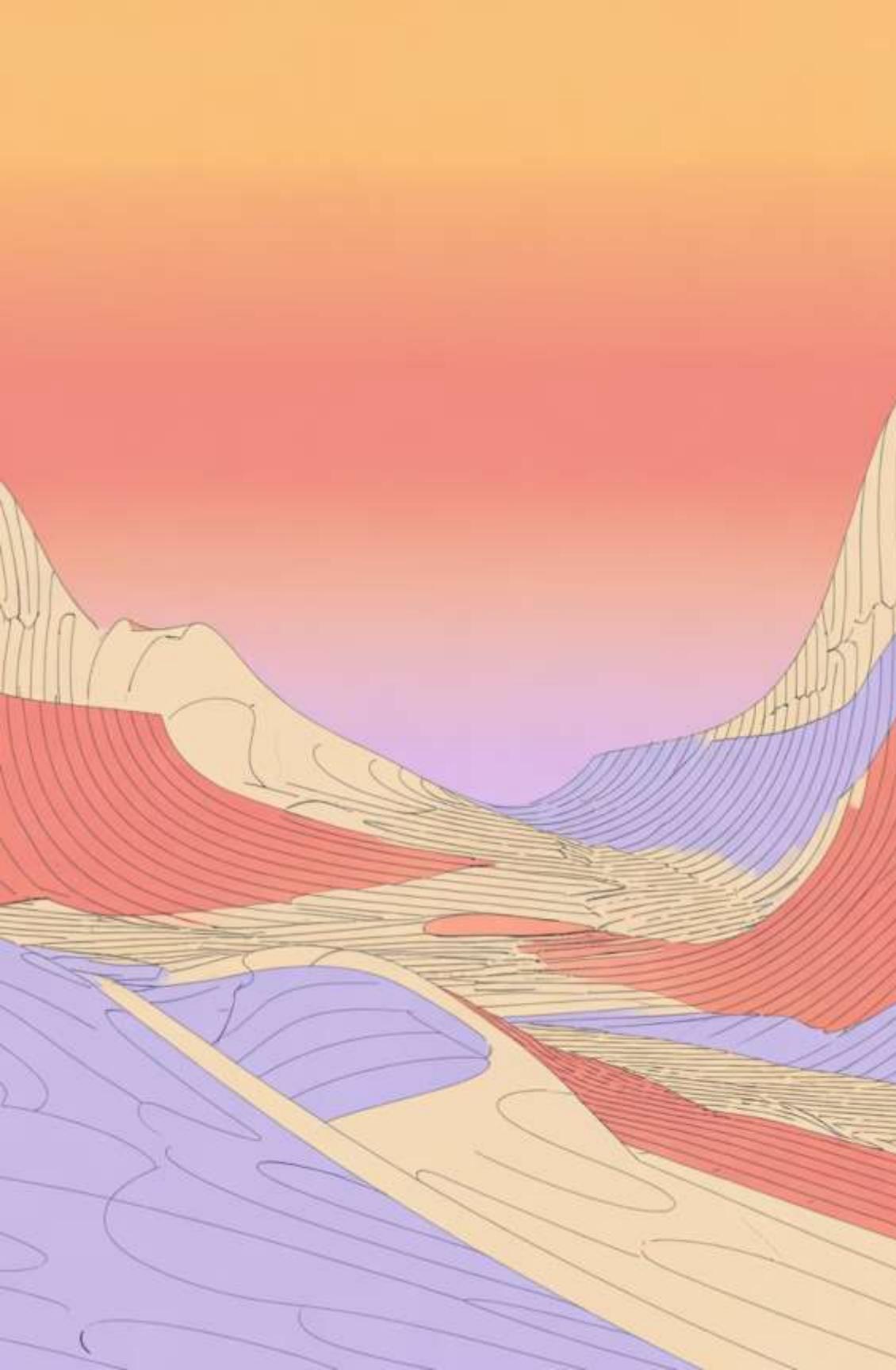
Вторые производные потенциала используют для изучения деталей геологического строения и поиска рудных тел. Они характеризуют изменение силы тяжести в различных направлениях.

Горизонтальные градиенты

W_xz , W_yz — изменение в направлениях X и Y

Вертикальный градиент

Wzz — изменение в вертикальном направлении



Полный горизонтальный градиент

Полный горизонтальный градиент — это геометрическая сумма горизонтальных компонент, указывающая направление наибольшего изменения силы тяжести:

$$G = \sqrt{W_{xz}^2 + W_{yz}^2}, \quad \tan \alpha = \frac{W_{yz}}{W_{xz}}$$

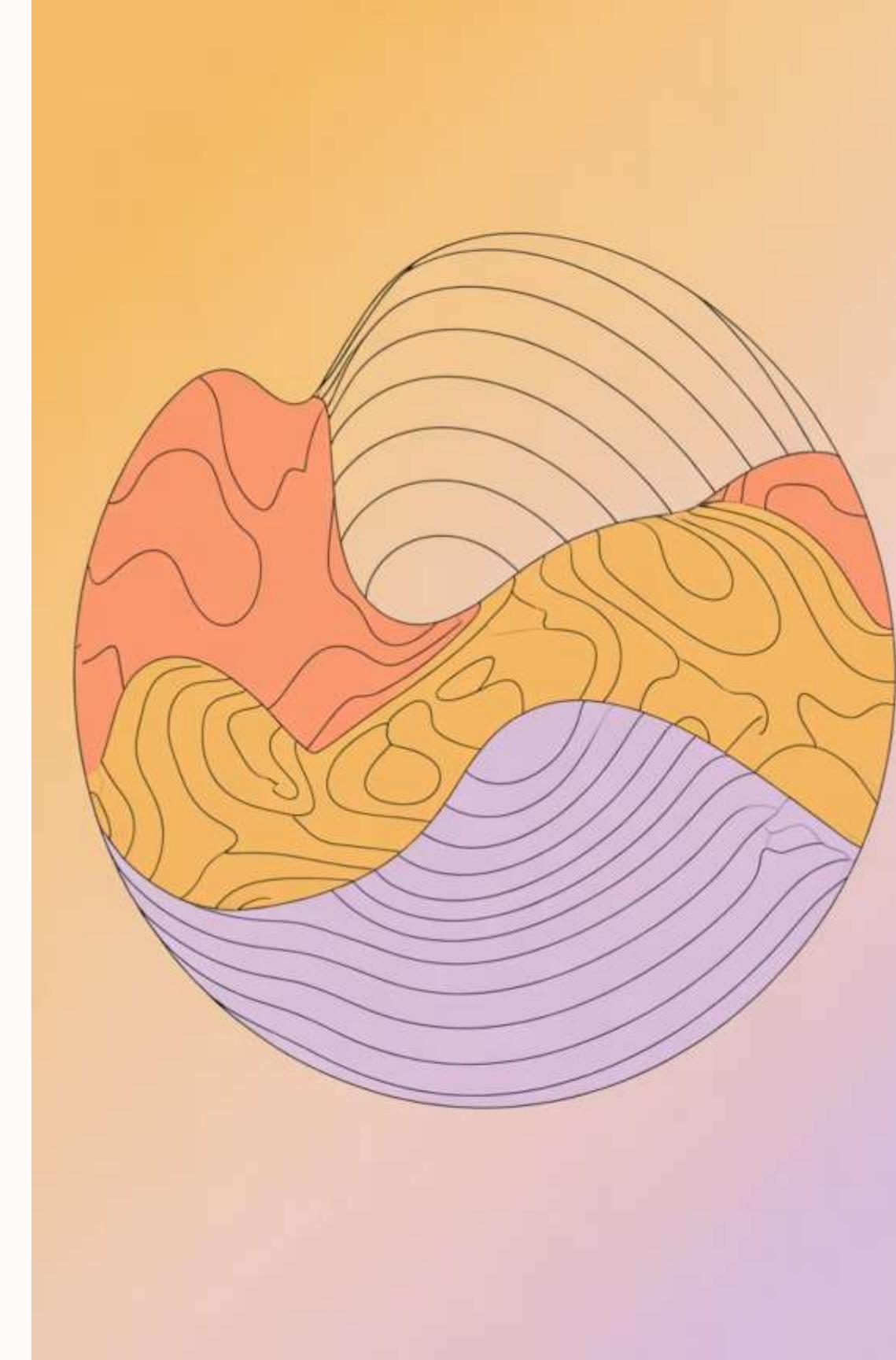
Вектор G определяет направление и величину максимального изменения гравитационного поля в горизонтальной плоскости.

Кривизна уровенной поверхности

Вторые производные W_{xy} и $W\Delta = W_{yy} - W_{xx}$ характеризуют форму и кривизну уровенной поверхности. Вектор кривизны:

$$R = \sqrt{(2W_{xy})^2 - W\Delta^2}$$

- W_{xy} — направление главных нормальных сечений
- $W\Delta$ — разность кривизн главных сечений
- Отклонение поверхности от сферичности



Единицы измерения вторых производных

1 E

Единица Этвеша

В системе СГС: $1 E = 1 \cdot 10^{-9} \text{ c}^{-2}$.

Названа в честь венгерского физика Р. Этвеша (1849–1919).

1 c⁻²

Единица СИ

В системе СИ: c^{-2} .

Характеризует изменение силы тяжести в 1 Гал на 1 метр.

Из шести вторых производных непосредственно измеряют W_{xz} , W_{yz} , W_{xy} , $W\Delta$. Остальные вычисляют по измеренным значениям.

