ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Երկրաբ. և աշխարհագր. գիտ. XVI, № 6, 1963 Геологич. и географич. науки

ГЕОФИЗИКА

А. Т. АСЛАНЯН

КВАНТОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ

В настоящей работе делается попытка использовать при изучении вопросов физики земных недр законы квантовой механики, специальной теории относительности, равновесного излучения и кинетики равновесных газов.

Согласно риттеровской теории пульсации переменных звезд [9] указанные законы становятся статистически правомерными, если Земля, сохраняя без изменения все свои фундаментальные характеристики (массу, скорость осевого вращения, скорость орбитального движения, сжатие и др.), совершает одновременно адиабатические радиальные пульсационные колебания с частотой

$$f=\frac{\sqrt{\frac{4}{3}\pi G\rho\,(3\gamma-4)}}{2\pi}=\frac{\omega_\rho}{2\pi}=\frac{v_\rho}{2\pi R}, \tag{1}$$

где G — гравитационная постоянная, γ — отношение Грюнайзена, ρ — средняя плотность, R — радиус Земли, а v_ρ — первая космическая скорость, при которой массы, слагающие толщу планеты, вступают в состояние невесомости.

Условие (1) предписывает Земле свойство гармонического осциллятора и абсолютно черного нагретого шара, излучение которого, ввиду приуроченности максимума излучаемой энергии к моментам предельного сжатия, носит неустойчивый характер.

Адиабатический характер пульсационных колебаний и неустойчивость излучения обусловливают конвентивное равновесие, при котором более холодные и тяжелые в удельном отношении атомы, молекулы и кристаллы погружаются к центру планеты, а более горячие и легкие из них всплывают [10, 11]. В этом случае между температурой T и плотностью ρ устанавливается зависимость $T\rho^{1-\gamma}=\text{const}$, между плотностью энергии излучения W и температурой зависимость $WT^4=a=\text{const}$, а между плотностью и атомным весом A зависимость $\rho/A=\text{const}$, причем в статистическом представлении (исключая водород) $\rho A=2Z$ (Z — атомный номер вещества, равный отношению числа всех электронов к числу всех атомов в данной области планеты) и, следовательно, $\rho/Z=\text{const}$.

Если обозначить средние значения плотности; атомного номера, атомного веса и температуры равновесного излучения Земли через ρ_m, Z_m, A_m и T_m, то из указанных зависимостей получим:

$$\frac{\rho}{\rho_m} = \frac{A}{A_m} = \frac{Z}{Z_m}, \tag{2}$$

$$\frac{T}{T_m} = \left(\frac{\rho}{\rho_m}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{Z}{Z_m}\right)^{\gamma-1}. \tag{3}$$

Зависимость (2), играющая в последующем изложении основную роль, показывает, что одинаковые объемы в химически неоднородной толще Земли, независимо от глубины их расположения, содержат одинаковое количество атомов. Это обстоятельство в свою очередь указывает на возможность применения для Земли закона постоянства частиц $dN/dR = 0$.

Согласно известной теореме Лихтейнштейна, если центр масс Земли находится на оси вращения, то система координат, связанная с центром масс, будет инерциальной. При частоте колебаний, определяемой условием (1), инерциальной является также система координат сопутствующего наблюдателя, неизменно связанного с поверхностью планеты, поскольку этот наблюдатель вместе со своей системой отсчета при спонтанном гравитационном сжатии планеты свободно (по инерции) падает к центру планеты. Это обстоятельство позволяет вычислить выход энергии, обусловленный гравитационным сжатием, методами специальной теории относительности.

Согласно этой теории [1] если энергию вращения несжимаемой планеты выразить зависимостью $E = \frac{1}{2} kM\omega^2R^2$, то та же энергия для сжимающейся планеты выразится зависимостью $E' = \frac{1}{2} kM\omega^2 \times \times (R\sqrt{1-\beta^2})^2$. Тогда избыточная кинетическая энергия $\Delta E = E - E'$, образующаяся при гравитационном сжатии планеты, в случае $\beta \ll 1$ будет равняться:

$$\Delta E = \frac{1}{4} kM\omega^2R^2\beta^2 \frac{1}{4} kMv^2\beta^2, \tag{4}$$

где k — отношение момента инерции планеты к произведению квадрата радиуса R и массы M, ω — текущая (современная) угловая скорость вращения планеты, $\beta = \omega R/c$, c — скорость света.

Согласно теореме вириала [1, 6, 11], энергия излучения ΔE связана с изменением гравитационной энергии ΔU зависимостью:

$$-\Delta E = -\frac{3\gamma - 4}{3\gamma - 3} \Delta U, \tag{5}$$

причем в нашей задаче ΔU представляет энергию магнитного поля планеты, которая в состоянии невесомости масс, слагающих планету, является единственным видом потенциальной энергии Гельмгольца—

$$\Delta U = \frac{\mu H_m^2}{8\pi} \cdot \frac{M}{\rho_m}. \tag{6}$$

где μ — магнитная проницаемость толщи планеты, а H_m — среднее значение напряженности ее магнитного поля.

Сравнивая выражения (4), (5) и (6), приходим к формуле:

$$H_m = \beta v \sqrt{\frac{3-3\gamma}{4-4\gamma} \cdot \frac{2\pi k \rho_m}{\mu}}, \tag{7}$$

которая при $\gamma = 5/3$ (модель шара, состоящего из одноатомного газа) и $\mu = 1$ переходит в основную формулу магнитной гидродинамики:

$$H_m = \beta v \sqrt{4\pi k \rho_m} = \Delta v' \sqrt{4\pi \rho'_m}, \tag{8}$$

где $\rho'_m = k\rho_m$ — приведенная плотность, а $\Delta v = \beta v$ — скорость дифференциального вращения (дрейфа) планеты в отношении собственного осевого дипольного магнитного поля, обусловленная силами Кориолиса, которые возникают при гравитационном сжатии и отклоняют гравитирующие частицы к востоку. Теоретическое значение $\beta v = 7{,}2 \times 10^{-2}$ *см/сек*, измеренное значение 7×10^{-2} *см/сек* [1, 13].

В предыдущих работах автора [1, 2] было показано, что

$$H_e = \beta v \sqrt{4\pi k \rho_m}, \tag{9}$$

$$H_p = \beta v \sqrt{4\pi k \rho_i}, \tag{10}$$

$$H_c = \beta v_p \sqrt{4\pi k \rho_c}, \tag{11}$$

$$T_m = \sqrt[4]{\frac{k\rho_m \omega_0^2 R^2 \beta^2}{2a}} = \sqrt[4]{\frac{\mu H_i^2}{8\pi a}}, \tag{12}$$

$$Z_m = \frac{\gamma \pi A_0 T_m}{\omega_p^2 R^2} = \frac{\gamma \pi^2 A_0 T_m}{v_p^2}, \tag{13}$$

где H_e, H_p, H_c — напряженность макроскопического магнитного поля на экваторе, магнитных полюсах и в центре Земли, H_i — среднее значение напряженности внутреннего магнитного поля Земли, ρ_c — плотность в центре, $A_0 = k_0/m_p$ — газовая постоянная, k_0 — постоянная Больцмана, m_p — масса протона, a — универсальная постоянная, равная $7{,}57 \times 10^{-15}$ град$^{-4}$. эрг/*см*^{3}.

При $\gamma = 5/3$ и $\mu = 1$ указанные формулы дают $\rho_m = 5{,}52$ *г/см*^{3} (при $H_e = 0{,}351$ *гс*), $\rho_c = 17{,}90$ *г/см*^{3} (при $H_p = 0{,}635$ *гс*), $T_m = 3690$°К, $Z_m = 8$. Пользуясь этими данными из формулы (2) получаем атомный номер вещества в центре Земли $Z = Z_c = 26$.

В согласии с данными сейсмологии примем, что земной шар состоит из $l = 1, 2, 3 \cdots$ нумерованных концентрических слоев или концентрических сфер и предположим, что каждый из этих слоев имеет собственную постоянную плотность, скачкообразно возрастающую от слоя к слою в направлении возрастания номера l от поверхности к центру планеты.

Под углом зрения квантово-статистической механики земной шар рассматривается в первом приближении как сплющенный симметричный волчок, для которого методом вторичного квантования устанавливаются соотношения [5, 8]:

$$O_r\,\varphi = E_r\,\varphi, \tag{14}$$

$$E_r = BJ\,(J+1) + (A-B)\,K^2. \tag{15}$$

$$Z_j = 2\,(2J+1) \quad \text{при } K > 0, \tag{16}$$

$$Z_l = 2J+1 \quad \text{при } K = 0, \tag{17}$$

$$l_{max} = \mathrm{ctg}^2\,\alpha, \quad n_{max} = \sec^2\alpha, \tag{18}$$

где O_r — собственные значения оператора вращательной энергии E_r, могущие принимать дискретные значения E_r; φ — волновая функция, соответствующая дискретным значениям E_r; A и B — вращательные постоянные, имеющие размерность энергии; J, K — вращательные квантовые числа, первое из которых соответствует вектору полного момента количества движения, а второе — компоненте этого вектора в направлении собственной оси ($J = K$, $K+1$, $K+2\cdots$); α — угол между векторами $\vec{J}$ и $\vec{K}$, равный половине угла раствора прецессионного конуса Земли (23° 27′), а Z_j — электронная статистическая сумма на соответствующем квантованном уровне l или внутри квантованной сферы радиуса r_l.

В уравнении (16) квантовое число J в общем случае может иметь смысл как орбитального квантового числа, так и внутреннего (спин-орбитального) квантового числа.

Выше мы получили $Z_{max} = Z_c = 26$. Записывая формулу (16) в виде

$$Z_l = 2\,(2l+1) \tag{19}$$

и полагая $Z_c = 26$, мы получим $l = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ орбитальных уровней. Для главного квантового числа $n = l+1$ она принимает вид

$$Z_n = 2\,(2n-1), \quad n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \tag{20}$$

а для внутреннего квантового числа $j = l + \frac{1}{2}$

$$Z_j = 2\,(2j+1), \quad j = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \frac{9}{2}, \frac{11}{2}, \frac{13}{2}. \tag{21}$$

Суть метода вторичного квантования в нашей задаче можно иллюстрировать, сравнивая модель радиально-пульсирующей Земли с возбужденным атомом калифорния. В атоме калифорния на семи вырожденных энергетических уровнях согласно формуле (16) последовательно располагаются 2, 6, 10. 14. 18, 22. 26 электронов. В толще Земли, согласно той же формуле, на аналогичных энергетических уровнях место электронов как квантов поля *первого порядка* занимают атомные ядра, рассматривающиеся как кванты поля *второго порядка*, причем и в этом случае на каждом энергетическом уровне каждое из ядер коллективизирует вокруг себя то же количество электронов—соответственно 2, 6. 10. 14, 18, 22 и 26. а сами атомы, оставаясь в одном и том же окружении и вращаясь вместе с Землей, прецессируют вокруг неподвижной кинетической оси, параллельной оси вращения Солнца.

При этом, если в первом случае кванты (электроны) взаимодействуют в поле ядра атома, то во втором случае кванты (атомные ядра) взаимодействуют в поле Земли, которая является теперь квантом поля более высокого порядка. Равным образом, рассматривая пульсирующую Землю, как гармонический осциллятор, совершающий согласно (1) акустические колебания, теория вторичного квантования утверждает, что каждое значение n определяет число фононов для каждого возбужденного состояния Земли, а волновая функция φ в (14) зависит исключительно от n, зависящего в свою очередь от статистического веса атомов, расположенных на данном энергетическом уровне. Кроме того, если все вещество Земли представить в плазменном состоянии, то согласно теории парциальных волн в случае конвективного равновесия в указанных выше соотношениях величина $\frac{1}{2}Z$ будет равняться полному эффективному сечению поглощения электронов атомными ядрами [5].

Согласно формуле (2), при $\rho \geqslant \rho_m$ каждому значению Z соответствует вещество определенного химического состава, для которого Z равняется отношению числа всех электронов к числу всех атомов, принимающих участие в одноатомном ансамбле, молекуле или кристалле этого вещества. Ниже, при определении химико-минералогической природы вещества Земли, мы будем исходить из аналогии между этим веществом и веществом метеоритов и изверженных горных пород.

При $\rho \leqslant \rho_m$ формула (2) дает $Z=2$, 4, 6. Эти значения Z представляют собой эффективный атомный номер вещества и в действительности эквиваленты $Z_m=8$, т. е. атомному номеру кислорода. Если моделировать вещество внешней оболочки и коры молекулами кислорода, то следует принять, что четыре валентных электрона образуют на стыке двух атомов кислорода ковалентный заряд, который статистически может распределяться несколькими различными способами. В первом случае заряд можно делить пополам и по-прежнему получим для нейтральных атомов $Z=8$; во втором случае заряд из четырех валентных электронов можно отнести к одному атому молекулы и тогда для одного из них получим $Z=10$, а для другого $Z=6$. Далее оба атома молекулы можно рассматривать как ионы. Если стыковой заряд из четырех электронов отнести к одному остову (иону), то для него получим $u=4$, а если разделить заряд между ними поровну, получим $Z=2$. Для каменных метеоритов и изверженных горных пород принимается обычно статистическое значение $Z=10$ [12].

Подставляя Z_l и Z_l в пропорцию (2), получим плотность на l -уровнях (на расстоянии r_l от центра планеты):

$$\rho_l = \frac{\rho_m}{Z_m} \cdot 2\ (2l+1),\ l=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5,\ 6 \qquad (22)$$

и среднюю плотность внутри сферы радиуса r_l

$$\rho_l = \frac{\rho_m}{Z_m} \cdot 2\,(2j+1),\; j = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \frac{11}{2}, \frac{13}{2}. \tag{13}$$

Скорости продольных волн, соответствующие полученным выше дискретным значениям плотностей, могут быть определены из следующих соображений.

В толще Земли, пульсирующей с частотой $f = \omega_p/2\pi$, соответствующей первой космической скорости вращения планеты $v_p = \omega_p R = \sqrt{gR} = 7{,}9$ *км/сек* (g — ускорение силы тяжести на поверхности) для глубин, где $\rho \geqslant \rho_m$, газовое давление (упругость паров)

$$P_g = \frac{5}{3}\, k\rho\,\omega_p^2 R^2 \tag{24}$$

уравновешивается массовым давлением

$$P_h = k\rho\,\bar{\omega}_p^2 R^2, \tag{25}$$

где по-прежнему k — постоянная жирации, γ — отношение теплоемкостей, ρ — плотность шара, а $\bar{\omega}_p^2 = \omega_p^2\,(3\gamma - 4)$.

В общем случае квадрат скорости продольных волн

$$C_p^2 = \frac{5}{3}\, k\omega_p^2 R^2 = \frac{20}{9}\,\pi G\rho R^2 k\,(3\gamma - 4). \tag{26}$$

Для модели однородной Земли, состоящей из одноатомного газа ($k = 2/5$, $\gamma = 5/3$),

$$\bar{C}_p^2 = \frac{8}{9}\,\pi G\rho_m R^2. \tag{27}$$

Из этих формул получаем $\bar{C}_p = 6{,}45$ *км/сек*, массовое давление в центре Земли $3{,}73 \times 10^{12}$ дин/*см*², среднее давление внутри Земли $1{,}15 \times 10^{12}$ дин/*см*² (при $k = 1/3$, $\gamma = 5/3$).

Выражение (26) при $k = 2/5$ определяет значение C_p для любого однородного шара плотности ρ.

Для определения скорости продольных волн на искомой глубине, где плотность равняется ρ_l, мы можем представить, что однородный шар имеет плотность ρ_l и определить согласно (26) значение C_p.

Сравнивая (26) и (27) и принимая во внимание пропорцию (2), получим скорость продольных волн на искомой глубине:

$$C_p = \bar{C}_p \sqrt{(3\gamma - 4)\frac{\rho_l}{\rho_m}} = \bar{C}_p \sqrt{(3\gamma - 4)\frac{Z_l}{Z_m}}. \tag{28}$$

Результаты, получаемые из формулы (28), совпадают с сейсмологическими определениями скоростей продольных волн, если принять для нижней оболочки $\gamma = 2{,}5$; $Z = 10$, внешней оболочки $\gamma = 2$, $Z = 6$, коры $\gamma = 2$, $Z = 4$ (табл. 1). Для ядра в целом удовлетворительное

Поверхности слоев и оболочек	Радиус в *км*		Скорость продольных волн в *км,сек.*		Плотность в $г/см^3$		Температура в °C	Атомный номер вещества	Вероятный хим. состав
Срединная поверхность коры	6353	6355*	6,45	—	2,76	—	650	(10)	$\overline{2MeO}\cdot SiO_2$
Поверхность оболочки	6334	6338*	7,80	7,8*	<4,14	3,32*	<1930	6 (8)	$\overline{Me}O\cdot SiO_2\cdot Mg(OH)_2$
Основание оболочки	3469	3470*	13,42	13,6*	<6,90	5,57*	<4890	10	Mg_2SiO_4
Поверхность внешнего ядра	3469	3470*	8,53	8,10*	<9,66	9,7*	<5090	14	Fe_2SiO_4
Основание внешнего ядра	—	1380*	9,74	10,4*	<12,42	12,0*	<6000	18	Fe_2Si_4
Поверхность внутреннего ядра	1255	1250*	16,60	11,2*	<15,18	15,0	<6980	22	Fe_2Si
Центр Земли	0	0	11,63	11,3*	17,90	17,9*	7860	26	Fe
Внутреннее ядро	1255	1250*	12,90	—	16,56	—	—	24	Fe_3NiSi
Внутреннее и внешнее ядра вместе	3369	3470*	—	—	11,02	—	—	16	$FeSiO$
Земля в целом	6371	6371	—	—	5,52	5,52*	3420	8	$Mg_3FeSi_2O_3H_4$

соответствие получается при значениях γ в пределах от 4,9/3 до 5/3.

Эти значения γ позволяют также определить температуру в недрах Земли согласно формуле (3). В частности, из последней получаем среднюю температуру в коре 923°К (при $Z=2$), в верхах оболочки 2200°К, в низах оболочки (слой D'' Буллена) 5160°К, в верхах внешнего ядра 5370°К, в низах его 6280°К, в верхах внутреннего ядра 7250°К, в центре Земли 8130°К (в табл. 1 значения C_p и T для ядра отнесены к случаю $\gamma=5/3$).

Об агрегатном состоянии вещества в недрах Земли можно судить по уравнению Линдемана:

$$\frac{Q_n}{Q_a}=\frac{\Phi_n}{\Phi_a}=\frac{(C_p^2)_n-\left(\frac{4}{3}C_s^2\right)_n}{(C_p^2)_a-\left(\frac{4}{3}C_s^2\right)_a}, \tag{29}$$

где Q_a, Q_n — температура плавления вещества на сравниваемых глубинах a и n, C_p, C_s — скорости продольных и поперечных волн на тех же глубинах.

По сейсмологическим данным [5] для коры $\Phi=24$, верхов оболочки 35, низов оболочки 110, верхов ядра 66. При этих значениях Φ, температура плавления форстерита составит на поверхности Земли $Q_a=2100$°К, в верхах оболочки 3000°К, в низах оболочки 6400°К и, таким образом, оливиновое вещество в оболочке Земли должно находиться в твердом состоянии.

Вещество верхов внешнего ядра с атомным номером $Z=14$, где температура 5360°К, соответствует фаялиту, который плавится на поверхности Земли при $Q_a=1500$К°. Следовательно, температура плавления его согласно формуле Линдемана составит в верхах внешнего ядра 4300°К, т. е. вещество должно находиться здесь в расплавленном кипящем состоянии, исключающем возможность прохождения через него поперечных волн.

Радиусы квантованных концентрических сфер внутри Земли могут быть определены из уравнения

$$x\frac{d^2y}{dx}+(1-x)\frac{dy}{dx}+ly=0, \tag{30}$$

где y — отношение объема наибольшей квантованной сферы радиуса $r_1=R-h_0$ к объему квантованных сфер радиуса $r_l\leqslant r_1$, а x — независимая переменная, которая обращается в нуль, если кинетическая и потенциальная энергии частиц, расположенных на уровне l, полностью уравновешивают друг друга.

Согласно формуле (5) для пульсирующей модели Земли потенциальная энергия Гельмгольца (энергия внутреннего магнитного поля в состоянии невесомости) уравновешивает кинетическую энергию излучения. В этом случае ($x=0$) из предыдущего уравнения получается регулярное решение $y(0)=l!$ в виде функции Лагерра

$$r_l\sqrt[3]{l!}=r_1, \tag{31}$$

нормированной для стационарных (нечетных) уровней $l=1, 3, 5$ [7].

Малая величина $h_0 = R - r_1$ соответствует значению r_l для случая $(l_{max}+1)$, т. е.

$$h_0 = \frac{R}{\sqrt[3]{(l_{max}+1)!}}, \tag{32}$$

причем l_{max} определяется независимо из формулы (18) и равняется по-прежнему 6, а значение h_0 при $R=6371$ *км* составляет 37 *км* и равняется средней мощности твердой земной коры. Отметим, что в волновой механике атома водорода h_0 соответствует радиусу атомного ядра, r_l — расстояниям между центром атома и орбитами электрона, а R — радиусу атома.

Масса отдельных концентрических сфер M_l, отнесенная к массе Земли M, в соответствии с формулами (23), (31) определяется для нечетных l из зависимости

$$\frac{M_l}{M} = \frac{4\,(l+1)}{Z_m\, l!}. \tag{33}$$

Выражение (31) как гипергеометрическая функция определяет расстояния от центра Земли до поверхностей разрывов первого порядка, характеризующихся параметрами $l=1, 3, 5$, $n=2, 4, 6$, $j=3/2, 7/2, 11/2$.

Указанные нечетные квантовые числа характеризуют внутренее ядро, внешнее ядро и оболочку, а $l=0$, $n=1$ кору Земли.

Приведенные выше формулы дают для них следующие результаты.

1. Внутренее ядро. $l=5$, $n=6$, $j=11/2$, $\gamma=5/3$, $r_5=1255$ *км*, плотность в центре $\rho_c = \frac{13}{4}\rho_m = 17{,}90$ *г/см³*, $C_p=11{,}64$ *км/сек*, плотность в верхах $\frac{11}{4}\rho_m=15{,}18$ *г/см³*, $C_n=10{,}71$ *км/сек*, средняя плотность $3\rho_m$, средний атомный номер $Z=24$, масса $\frac{1}{40}M$, химическая формула $F_{e3}N_iS_i$, химический состав: F_e — 66%, N_i — 23%, S_i — 11%; химическая формула на поверхности ($Z=22$) $F_{e_2}S_i$. Магнитный момент Земли обуславливается, вероятно, внутренним ядром, радиус которого оказывается равным $R\,\mathrm{tg}D$ ($D=\frac{\alpha}{2}$ — угол между магнитной и механической осями Земли). Отсутствие у Венеры заметно сильного магнитного поля возможно объясняется отсутствием у нее ферромагнитного ядра типа рассматриваемого внутреннего ядра Земли и малой скоростью вращения (порядка 6,5 *м/сек*). В таком случае для Венеры должно быть принято $l_{max}=4$, $Z_{max}=18$ (при $Z_m=8$), $\alpha=26°34$, $\rho_c = 11{,}4$ *г/см³* (при $\rho_m=4{,}95$ *г/см³*) и она должна состоять из ядра состава F_eS_iO ($Z=16$), радиуса 3400 *км* (при $R=6200$ *км*), средней плот-

ности 9,90 $г/см^3$ и оливиновой оболочки, мощностью 2800 $км$, равной по массе 2/3 массы всей планеты ($4{,}77 \times 10^7$ $г$). Меркурий, имеющий плотность 5,3 $г/см^3$ и радиус 2420 $км$, может рассматриваться как химический аналог внутреннего ядра Земли, вспученный вследствие разрушения (или испарения) и разлета оболочки.

2. Ядро в целом. $l=3$, $n=4$, $j=7/2$, $\gamma=5/3$, $r_3=3469$ $км$, средний атомный номер $Z=16$, средняя плотность $2\rho_m=11{,}04$, масса $\frac{1}{3}M$, средняя химическая формула $FeSiO$, химический состав: $Fe-56\%$, $Si-28\%$, $O-16\%$. Для верхов ядра $Z=14$, $\rho=\frac{7}{4}\rho_m=9{,}66$ $г/см^3$, $c_p=8{,}53$ $км/сек$, химическая формула $2FeO\cdot SiO_2$ (фаялит). Для нижней части внешнего ядра (слой F) $Z=18$, $\rho=\frac{9}{4}\rho_m=12{,}42$ $г/см^3$, $c_p=9{,}68$ $км/сек$. Химическая формула Fe_2Si_4 (ферросилиций).

3. Земля в целом. $l=1$, $(l=0)$, $j=\frac{3}{2}$, $Z=8$, $\rho=\rho_m$, $r_1=6334$ $км$, $r_0=R=6371$ $км$, средняя химическая формула вероятно $Mg_3O_3FeSi_2H_8$, химический состав: $Mg-30{,}3\%$, $Si-23{,}6\%$; $Fe-23{,}4\%$, $O-20{,}2\%$, $H-2{,}5\%$ (все примесные элементы, имеющие нечетную валентность, обобщены здесь в H, а примесные элементы с четной валентностью в Mg).

Согласно формуле (2) эффективный заряд для вещества коры $Z=4$, а плотность $\rho_k=\frac{1}{2}\rho_m=2{,}76$ $г/см^3$, что равняется лабораторной плотности пород коры, а согласно формуле (19) эффективный заряд вещества коры $Z=2$, а плотность $\rho_k=\frac{1}{4}\rho_m$. Это плотность изостатически уравновешенной плавающей коры или т.н. эффективная (архимедова) плотность, равная разности лабораторных плотностей коры и магматического субстрата (внешней части оболочки). Мощность коры согласно формуле (32) составляет 37 $км$. Мощность оболочки равняется 2865 $км$, масса вместе с корой $\frac{3}{4}M$, средняя плотность $\rho=\frac{4}{3}\rho_m=4{,}41$ $г/см^3$. Для внешней оболочки $Z=6$, $\rho=\frac{3}{4}\rho_m=4{,}14$ $г/см^3$; глубина залегания подошвы согласно формуле (31) при $l=6$ равняется 711 $км$ и совпадает с предельной глубиной очагов глубокофокусных землетрясений; для верхов ее, при $\gamma=2$, получается C_p 7,80 $км/сек$, для низов, при $\gamma=2{,}5$, $C_p=10{,}44$ $км/сек$.

Для нижней части оболочки (слой D'') $Z=10$, $\rho=\frac{5}{4}$, $\rho_m=6{,}90$ $г/см^3$, $\gamma=2{,}5$, $C_p=13{,}50$ $км/сек$. Значению $Z=10$ соответствует вероятно форстерит—$2MgO\cdot SiO_2$, содержащий $34{,}3\%$ Mg, 20% Si, $45{,}7\%$ O, или соединение MgO, которое, возможно, является дифференциатом первичного оливинового (хондритового) вещества ядра. Представляется также вероятным, что атмосферный кислород является дифференциатом того же первичного оливинового вещества внутреннего ядра Земли.

Отметим, что химический состав среднего вещества Земли ($Z=8$), представляемый формулой $Mg_3FeSi_2O_3H_6$, отвечает составу гидратированного магнетитового оливинита, называемого иногда рудным перидотитом или сидеронитовым дунитом. Структуру его можно представить в виде

$$\begin{array}{c} \qquad\qquad\qquad\quad H \quad\; H \\ \qquad\qquad\qquad\quad | \quad\;\; | \\ H-O-Mg-Fe-Si-Si-O-Mg-Mg-O-H. \\ \qquad\qquad\qquad\quad | \quad\;\; | \\ \qquad\qquad\qquad\quad H \quad\; H \end{array}$$

Согласно сделанным выше замечаниям о ковалентной связи, эффективным атомным номерам внешней оболочки $Z=6$ и коры $Z=2$ должно соответствовать одно и то же статистическое значение $Z=10$.

Следуя Шимадзу [12], примем, что в изверженных горных породах число трехвалентных ионов (железа, алюминия и др.) равняется приблизительно числу одновалентных ионов (калия, натрия, водорода и др.). Тогда химическую формулу внешней оболочки и коры можно представить в виде $2\overline{Me}O\cdot SiO_2$, подразумевая под $\overline{Me}$ двухвалентный комплексный ион, который занимает в кристаллической ячейке такое же положение, что и атом магния в форстерите и имеет эффективный атомный номер, равный атомному номеру магния.

Касаясь вопроса химизма коры, отметим лишь, что такие широко распространенные в ней породообразующие минералы, как кварц, альбит, анортит, форстерит, энстатит, нефелин имеют все атомный номер 10.

Укажем, что наиболее распространенные в габбро-перидотитовой формации породы состоят из серпентина $3MgO\cdot 2SiO_2\ 2H_2O$ с атомным номером $70/9=7{,}77\cdots$, содержащего небольшие примеси FeO, Fe_2O_3' NiO, C_0O, Al_2O_3' $C_{r_2}O_3$, $CaOZ_nO$ и др. Наличие последних, естественно, приводит к увеличению атомного номера вещества формации в целом, а содержание самих примесей может быть подобрано таким образом, чтобы атомный номер породы равнялся точно 8 или 10. С этой точки зрения наиболее вероятным для внешней оболочки представляется соединение типа норбергита—$MgO\cdot SiO_2\cdot Mg\ (OH)_2$, в котором один из атомов магния обобщает одновременно все трехвалентные и одновалентные примесные элементы.

В геофизической литературе [4] для поверхности оболочки плотность принимается условно равной плотности оливина 3,32 $г/см^3$, а для низов 5,57 $г/см^3$. При прочих равных условиях это приводит к невозможному значению постоянной жирации для ядра $k=0{,}57$ против максимально возможного значения $k=0{,}4$ (однородная сфера).

Приведенные выше значения для низов оболочки $\rho = \frac{5}{4}\rho_m = 6{,}90$ *г/см³* и верхов оболочки $\rho \leqslant \frac{3}{4}\rho_m = 4{,}14$ *г/см³* снимают это противоречие (для каменных метеоритов $\rho = 3{,}54$ *г/см³*).

Из полученных выше результатов следует, что при появлении гравитационной неустойчивости разрушение Земли должно произойти, по всей вероятности, последовательным огрывом и разлетом описанных квантованных оболочек.

Из динамики нестационарных звезд известно [3], что если до разрушения радиус звезды был R_0, то после разрушения и разлета части ее радиус уменьшается до значения

$$r_0 = R_0\left(\frac{\gamma_k - 1}{2}\right)^{\frac{3-m}{3}}. \tag{34}$$

Сравнивая эту формулу с формулой (31), получим для нечетных квантованных орбит зависимость

$$\left(\frac{\gamma_k - 1}{2}\right)^{3-m} = \frac{1}{l!}, \tag{35}$$

определяющую критические значения отношения Грюнайзена на квантованных орбитах, при которых вышележащие оболочки разрушаются и удаляются в бесконечность.

В аналитическом выражении

$$\gamma_k = \frac{2m+3}{2m+1}, \tag{36}$$

где случай $m = 0$ характеризует сильно сжатый газ, $m = 1$—одноатомный газ, $m = 2$ — двухатомный газ, а $m = 3$ — гипотетический нагретый газ [3].

Согласно формуле (35) для разлета коры при $m = 1$ и $m = 2$ значение γ_k во внешней оболочке ($l = 1$) должно быть 3; для разлета всей оболочки значение γ_k на поверхности внешнего ядра ($l = 3$) при $m = 2$ должно уменьшиться до 4/3, а для разлета внешнего ядра и оболочки ($l = 5$) оно при $m = 2$ должно равняться на поверхности внутреннего ядра $1 + 1/60$. Разрушение и разлет вещества всей планеты согласно формуле (34) происходят при $\gamma_k = 1$.

Полученные выше данные о внутреннем строении Земли ближе всего соответствуют известной булленовской модели Земли „В", основанной на геофизических данных и отдельных частных предположениях [4].

Выше, в табличной форме приводится сопоставление части наших данных с данными Буллена (последние отмечены в таблице звездочками).

Ա. Տ. ԱՍԼԱՆՅԱՆ

ԵՐԿՐԻ ՆԵՐՔԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ամփոփում

Հոդվածում քննարկվում է քվանտային մեխանիկայի օրենքների կիրառման հնարավորությունը երկրի ներքին կառուցվածքի և քիմիական կազմության հարցերը լուսաբանելու ասպարեզում: Ստացված քանակական արդյունքները լրիվ համապատասխանում են այն փաստական տվյալներին, որոնք ստացվել են սեյսմոլոգիական չափումների և մետեորիտների ու հրային ապարների ուսումնասիրության հետևանքով:

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асланян А. Т.* Основы количественной теории магнитного поля Земли. Ереван, 1962.
2. *Асланян А. Т.* О внутренней температуре и химизме Земли. Изв. АН Армянской ССР, серия геол., № 3, 1963.
3. *Баум Ф. А., Каплан С. А., Станюкович К. П.* Введение в космическую газодинамику, М., 1958.
4. *Буллен К.* Сейсмология и внутреннее строение Земли в целом. Сб. статей „Физика и химия Земли", Изд. иностр. лит., М., 1958.
5. *Давыдов А. С.* Квантовая механика, М. 1963.
6. *Данжи Дж.* Космическая электродинамика. Изд. иностр. лит., М., 1961.
7. *Кампе де Ферье, Кемпбелл Р., Петьо Г., Фогель Т.* Функци математической физики, М., 1963.
8. *Маркс Г.* Введение в квантовую механику. Будапешт, 1962.
9. *Росселанд С.* Теория пульсации переменных звезд. Изд. иностр. лит., М., 1952.
10. *Шварцшильд М.* Строение и эволюция звезд. Изд. иностр. лит., М., 1961.
11. *Чандрасекар С.* Введение в учение о строении звезд Изд. иностр. лит., М., 1950.
12. *Shimadzu Y.* A chemical phase transition hypothesis of the mantle of the Earth. Journ. Earth. Sci., Nagoya Univ., 6, № 1, 1958.
13. *Yukotake T.* The westward drift ot the magnetic field of the Earth. Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo, 40, № 1, 1962.