8. Динамическое поле покоя-движения в равномерном круговом движении

В покое-движении по окружности радиуса a состояние материальной точки m определяется параметром

$$\hat{S} = m\hat{\Psi} = m(a+ia)e^{-i\omega t} = \hat{S}_p + \hat{S}_k = \hat{m}a\,, \tag{8.1}$$

где составляющие состояния в неподвижном и подвижном базисах соответственно равны:

$$\hat{S}_p = m\hat{a}_p = mae^{-i\omega t}, \qquad \hat{S}_k = mr_k = miae^{-i\omega t}. \tag{8.1a}$$

$$S_p = mr_p = ma\,, \qquad \tilde{S}_k = m\tilde{r}_k = mia\,. \tag{8.1b}$$

Состояние точки выражается также произведением потенциально-кинетической массы точки на радиус окружности: $\hat{S} = \hat{m}a$.

Потенциально-кинетическая масса точки имеет вид:

$$\hat{m} = (m+im)e^{-i\omega t} = \hat{m}_p + \hat{m}_k\,, \tag{8.2}$$

где потенциальная и кинетическая масса в неподвижном и подвижном базисах соответственно равна:

$$\hat{m}_p = me^{-i\omega t}, \qquad \hat{m}_k = ime^{-i\omega t} \tag{8.2a}$$

$$\hat{m}_p = m\,, \qquad \hat{m}_k = im\,. \tag{8.2b}$$

Потенциальная вращательная масса - продольная, радиальная центростремительная масса; кинетическая вращательная масса - поперечная, тангенциальная центробежная масса.

Потенциально-кинетический импульс точки в круговом движении выражается формами:

$$\hat{P} = m\frac{d\hat{\Psi}}{dt} = m\hat{\upsilon} = m\hat{\upsilon}_p + m\hat{\upsilon}_k = \frac{d\hat{m}}{dt}a = \hat{q}a = \hat{p}_p + \hat{p}_k\,, \tag{8.2}$$

где

$$\hat{\upsilon} = \hat{\upsilon}_p + \hat{\upsilon}_k = (-i\omega a + \omega a)e^{-i\omega t} \tag{8.2a}$$

- потенциально-кинетическая, продольно-поперечная, центростремительно-центробежная, радиально-тангенциальная скорость покоя-движения, определяющая соответствующие импульсы:

$$\hat{p}_p = m\hat{\upsilon}_p = -mi\omega ae^{-i\omega t}, \tag{8.2a}$$

$$\hat{p}_k = m\hat{\upsilon}_k = m\omega ae^{-i\omega t}. \tag{8.2b}$$

Скорость изменения состояния массы, или заряд, носит потенциально-кинетический характер и имеет вид:

$$\hat{q} = \frac{d\hat{m}}{dt} = -i\omega(m + im)e^{-i\omega t} = \hat{q}_p + \hat{q}_k \, . \tag{8.3}$$

В неподвижном базисе потенциальный и кинетический заряды соответственно равны:

$$\hat{q}_p = \frac{d\hat{m}_p}{dt} = -i\omega m e^{-i\omega t}, \qquad \hat{q}_k = \frac{d\hat{m}_k}{dt} = \omega m e^{-i\omega t} . \tag{8.3a}$$

В подвижном базисе имеем:

$$\hat{q}_p = -i\omega m_p = -i\omega m, \qquad \hat{q}_k = -i\omega m_k = \omega m . \tag{8.3b}$$

Потенциальный заряд описывает радиальное центростремительное поле покоя, кинетический заряд - тангенциальное центробежное поле движения.

Потенциально-кинетический импульс, как момент заряда, описывается равенствами:

$$\hat{P} = \frac{d\hat{m}}{dt} a = \hat{q}a = \hat{p}_p + \hat{p}_k = \hat{q}_p a + \hat{q}_k a . \tag{8.4}$$

Потенциально-кинетический импульс представляется взаимно перпендикулярными импульсами покоя и движения, что отражает ортогональность этих полей.

Кинема поля изменения импульса выражает обмен покоем-движением и представляется следующими равносильными формами:

$$\hat{F} = \frac{d\hat{P}}{dt} = m\hat{w} = \hat{F}_p + \hat{F}_k , \tag{8.5}$$

$$\hat{F} = \frac{d\hat{P}}{dt} = \hat{m}w = \hat{F}_p + \hat{F}_k = -\hat{m}\frac{\upsilon^2}{a} , \tag{8.5a}$$

$$\hat{F} = \frac{d\hat{P}}{dt} = \frac{d\hat{q}}{dt} a = \frac{d\hat{q}_p}{dt} a + \frac{d\hat{q}_k}{dt} a = \hat{F}_p + \hat{F}_k , \tag{8.5b}$$

$$\hat{F} = \frac{d\hat{P}}{dt} = \hat{I}a = (\hat{I}_p + \hat{I}_k)a = \hat{F}_p + \hat{F}_k , \tag{8.5c}$$

где $\hat{I}$ - потенциально-кинетический продольно-поперечный центростремительно-центробежный ток:

$$\hat{I} = \frac{d\hat{q}}{dt} = \frac{\hat{F}}{a} = -\omega^2 \hat{m} = -\omega^2 (m + im)e^{-i\omega t} = \hat{I}_p + \hat{I}_k . \tag{8.6}$$

Потенциальный продольный (радиальный) центростремительный ток покоя $\hat{I}_p$ и кинетический поперечный (тангенциальный) центробежный ток движения $\hat{I}_k$ в неподвижном и подвижном базисах имеют вид:

$$\hat{I}_p = \frac{d\hat{q}_p}{dt} = -\omega^2 m e^{-i\omega t}, \qquad I_p = \frac{dq_p}{dt} = -\omega^2 m , \tag{8.6a}$$

$$\hat{I}_k = \frac{d\hat{q}_k}{dt} = -\omega^2 ime^{-i\omega t}, \qquad \tilde{I}_k = \frac{d\tilde{q}_k}{dt} = -\omega^2 im\,. \tag{8.6b}$$

Итак, в поле кругового покоя-движения кинема является продольно-поперечным, радиально-тангенциальным параметром обмена покоем-движением:

$$\hat{F} = \hat{m}\left(-\frac{\upsilon^2}{a}\right) = \hat{F}_p + \hat{F}_k = -(\hat{m}_p + \hat{m}_k)\frac{\upsilon^2}{a}, \tag{8.7}$$

или

$$\hat{F} = m\hat{w} = \hat{F}_p + \hat{F}_k = m\left(\left(-\frac{\upsilon^2}{a}e^{-i\omega t}\right) + \left(-i\frac{\upsilon^2}{a}e^{-i\omega t}\right)\right). \tag{8.8}$$

Потенциальная продольная (радиальная) центростремительная кинема обмена покоем имеет формы:

$$\hat{F}_p = m\hat{w}_p = \hat{m}_p\left(-\frac{\upsilon^2}{a}\right) = \hat{I}_p a = m\left(-\frac{\upsilon^2}{a}e^{-i\omega t}\right). \tag{8.8a}$$

Подобные формы имеет кинетическая поперечная (тангенциальная) центробежная кинема обмена движением:

$$\hat{F}_k = m\hat{w}_k = \hat{m}_k\left(-\frac{\upsilon^2}{a}\right) = \hat{I}_k a = m\left(-i\frac{\upsilon^2}{a}e^{-i\omega t}\right). \tag{8.8b}$$

В подвижном базисе потенциально-кинетическая центростремительно-центробежная кинема имеет вид:

$$\hat{F} = m\hat{w} = \hat{F}_p + \hat{F}_k = m\left(\left(-\frac{\upsilon^2}{a}\right) + \left(-i\frac{\upsilon^2}{a}\right)\right). \tag{8.8c}$$

Если опираться на удельное потенциально-кинетическое ускорение, кинему обмена покоем-движением можно представить так:

$$\hat{F} = ma\hat{\varepsilon} = ma\hat{\varepsilon}_p + ma\hat{\varepsilon}_k = -ma\omega^2(1+i)e^{-i\omega t}\,. \tag{8.8d}$$

Рассмотрим еще одну важную форму кинемы обмена, которую получим, преобразую форму (8.8): $\hat{F} = m\hat{w} = m(-i\omega)\hat{\upsilon} = \tilde{q}\hat{\upsilon}$. Если кинематическую скорость обозначить через B, тогда кинема представиться следующей формой:

$$\hat{F} = \tilde{q}\hat{B}\,. \tag{8.8e}$$

Если $\tilde{q}$ - заряд надстройки, а нас интересует заряд базиса, тогда согласно (4.33) получаем кинему вида

$$\hat{F} = \frac{\upsilon}{c}\tilde{Q}\hat{B}\,. \tag{8.8f}$$

В поперечном поле обмена, эта формула носит название силы Лоренца.

С импульсом и кинемой связаны соответствующие потенциально-кинетические моменты:

а) потенциально-кинетический продольно-поперечный центростремительно-центробежный момент импульса покоя-движения

$$\hat{L} = \hat{P}a = m\hat{\upsilon}a = \hat{L}_k + \hat{L}_p = J\hat{\omega} = J(\omega - i\omega)e^{-i\omega t}, \tag{8.9}$$

где $J = ma^2$ - момент инерции в круговом движении;

$$\hat{L}_k = J\omega e^{-i\omega t} \tag{8.9a}$$

- кинетический тангенциальный центробежный момент импульса;

$$\hat{L}_p = J(-i\omega)e^{-i\omega t} \tag{8.9b}$$

- потенциальный радиальный центростремительный момент импульса.

б) потенциально-кинетический продольно-поперечный центростремительно-центробежный момент кинемы покоя-движения

$$\hat{M} = \hat{F}a = \hat{M}_p + \hat{M}_k = J\hat{\varepsilon} = J\hat{\varepsilon}_p + J\hat{\varepsilon}_k. \tag{8.10}$$

Продольный (радиальный) центростремительный потенциальный момент и поперечный (тангенциальный) центробежный кинетический момент в неподвижном и подвижном базисах определяются выражениями:

$$\hat{M}_p = J\hat{\varepsilon}_p = -J\omega^2 e^{-i\omega t}, \quad M_p = J\varepsilon_p = -J\omega^2 \tag{8.10a}$$

$$\hat{M}_k = J\hat{\varepsilon}_k = -Ji\omega^2 e^{-i\omega t}, \quad \tilde{M}_k = J\tilde{\varepsilon}_k = -Ji\omega^2. \tag{8.10b}$$

Отношение момента заряда $\hat{P}$ к моменту импульса $\hat{L}$ имеет вид:

$$\frac{\hat{P}}{\hat{L}} = \frac{\hat{q}a}{m\hat{\upsilon}a} = \frac{\hat{q}}{m\hat{\upsilon}} = \frac{\frac{\hat{\upsilon}}{c}\hat{Q}}{m\hat{\upsilon}} = \frac{\hat{Q}}{mc} \tag{8. 11}$$

Потенциально-кинетическая продольно-поперечная энергия покоя-движения точки по окружности определяется интегралом:

$$\hat{E} = \int \hat{F}d\hat{a} = \int m\hat{\upsilon}d\hat{\upsilon} = -\int I\hat{a}d\hat{a} = \frac{m\hat{\upsilon}^2}{2} = \frac{\hat{L}\hat{\omega}}{2} = -\frac{k\hat{a}^2}{2}, \tag{8.12}$$

при этом

$$E = \frac{m\hat{\upsilon}_k^2}{2} + \frac{m\hat{\upsilon}_p^2}{2} = \frac{\hat{p}_k^2}{2m} + \frac{\hat{p}_p^2}{2m} = 0, \tag{8.12a}$$

и полная мера энергии по окружности есть мера вида:

$$\hat{E} = \frac{m\hat{\upsilon}^2}{2} = m\hat{\upsilon}_p\hat{\upsilon}_k\,. \qquad (8.12b)$$

Разность кинетической и потенциальных энергий в подвижном базисе определяет модуль энергии:

$$E_m = E_k - E_p = m\upsilon^2\,. \qquad (8.12c)$$

Итак, при движении по окружности (как это в частности имеет место в Н-атоме) потенциальная и кинетическая энергии материальной точки взаимно уравновешены.

В силу этого круговое движение является оптимальным (равновесным) состоянием поля покоя-движения, при котором «притяжение» и «отталкивание» взаимно уравновешиваются, что обеспечивает устойчивость орбитального движения в микро- и мега мире. Квантитативное равенство "притяжения» и «отталкивания» одновременно сопровождается квалитативным неравенством направлений полей покоя и движения, что и порождает вечное круговое волновое движение. Для того чтобы оно исчезло нужно разрушить полностью эту систему, но и тогда возникнет большое число новых круговых волновых движений, более дисперсных уровней.

Если радиус окружности стремиться к бесконечности, любой участок окружности можно рассматривать как прямолинейное движение-покой. Сумма кинетической и потенциальной энергий такого "прямолинейного" движения, как и в круговом движении, равна нулю, но модуль не равен нулю.