

The informational model – gravity

Sergey V. Shevchenko¹ and Vladimir V. Tokarevsky²

¹*Institute of Physics of NAS of Ukraine, Pr. Nauki, 46, Kiev-28, Ukraine*

²*Professor ret., Pr. Nauki, 46, Kiev-28, Ukraine*

Abstract In a number of our arXiv papers it was rigorously shown that Matter in our Universe – and Universe as a whole - are some informational systems (structures), which exist as uninterruptedly transforming [practically] infinitesimal sub-sets of the absolutely infinite and fundamental set “Information”. The conception enables to suggest a reasonable physical (“informational”) model that is based on the conjecture that Matter is some analogue of computer (more correct – some analogue of a [huge] number of mutually weakly connected automata). The conjecture, in turn, allows introducing in the model the basic logical elements that constitute the material structures (e.g., particles) and support the informational exchange - i.e. the forces - between the structures. The model yet now makes clearer a number of basic problems in physics; and, besides, enables to put forward rather reasonable model of the gravity force. In this paper more detailed and corrected version of the model is presented.

Key words: informational model, relativity theory, gravity, experimental testing

PACS: 01.70.+w, 03.30.+p, 04.80.Cc

1 Introduction

In [1 - 3] it was rigorously shown that Matter in our Universe – and Universe as a whole - are some informational systems (structures), which exist as uninterruptedly transforming [practically] infinitesimal sub-sets of fundamental absolutely infinite Set “Information”. This informational conception (“The Information as Absolute” conception) enables to propose the physical model (more see [4],[5]), which, when basing practically only on Uncertainty principle, adequately depicts the motion and interactions of particles in spacetime. In the model [subatomic] particles are some closed-loop algorithms that run on a “hardware”, which consists, in turn, of a closed chain of elementary logical gates – “fundamental logical elements” (FLE), which are some (distinct, though) analogues of C. F. von Weizsäcker’s 1950-54 years “Urs” [6]. The FLE’s sizes in the spacetime in both - in the space and in the (“coordinate”) time - directions are equal to Planck length, l_p , $l_p = \left(\frac{\hbar G}{c^3}\right)^{1/2}$ (\hbar is reduced

¹ shevch@iop.kiev.ua ; sshev@voliacable.com

Planck constant - the elementary physical action, G - gravitational constant, c - speed of light in the vacuum); the time interval of the FLE's "flip" is equal to Planck time, $\tau_p, \tau_p = \frac{l_p}{c}$.

1.1 Particles

Since particles' algorithms never stop (the FLEs are uninterruptedly flipping), the particle moves in 4D spacetime with constant speed that is equal to the standard speed of light. If the particle is at rest in the space, it moves with the speed of light in temporal direction only – "in the "time flow" direction". As an analogue of the "time flow" it seems be rather reasonable to introduce the "informational currents" (IC); and, besides, the fixed information variables:

- the time IC (t-IC):

$$j_t = \frac{1}{\hbar} \gamma m_0 c^2, \quad (1)$$

- the space IC (s-IC):

$$j_x = \frac{1}{\hbar} \gamma m_0 c^2 \beta^2, \quad (2)$$

- the fixed information:

$$\Delta I_M = \frac{\Delta M}{\hbar}. \quad (3)$$

(v is the speed of a particle, $\beta = v/c$, $\gamma = 1/(1 - \beta^2)^{1/2}$ is the Lorentz – factor of the particle motion, ΔM is the angular momentum, m_0 is the particle's rest mass. The dimensionality of the time and the space currents is [bit/s], the dimensionality of fixed information is [bit]). Besides note, that fixed information relates, quite naturally, also to the physical action, S .

The "material" length of a particle's algorithm [at rest] is equal to the particle's Compton

$$\text{length, } \lambda_C, \lambda_C = \frac{\hbar}{m_0 c}.$$

So through a particle's circular logical chain an active "flipping point" runs uninterruptedly, having (at rest) momentum, $p_p, p_p = \hbar / \lambda_C = m_0 c$, and angular momentum (for example – the photon's spin), \hbar .

At that particles are some disturbances in Aether, which is the dense 4D lattice of 4D FLE in the spacetime. If in Aether a FLE is at rest or a flipping point runs through a straight line (in a space or in the time direction), then corresponding "particle" has uncertain or infinite Compton length, so the "particle" has zero rest mass and zero momentum – as for the case when FLE doesn't flip at all. But some impact with non-zero momentum p in this (or in any direction for non-flipping FLE) direction results in the creation of a particle – at the impact in

the *time* direction it is “usual” material particle (“T-particle”) having the mass $m_0 = p'/c$; $p' \leq p$ and the energy $E = pc = \gamma m_0 c^2$; the impact in a *space* direction results in the occurrence of “S-particle”, e.g. – of a photon having also the energy $E = pc$.

Any [of known now] particle’s Compton length is much larger the Planck length, what enables “to write” on this length a code that defines the particle’s parameters, but all (any particle’s) codes contain “universally significant” FLEs - “us-FLEs”, that flip in the end of the algorithm, i.e. in the end of particle’s Compton length. And just these FLEs determine the location of the particle in spacetime, besides it is rather probable (see below) that these FLEs are responsible also for the gravity interactions between particles (and, of course, – between bodies).

1.2 Forces in the informational model

In the informational model seems as quite plausible the conjecture that at an interaction of a force’s mediator with a particle some t-IC step in this particle becomes “be spent” by interaction, resulting in the particle’s t-IC’s decrease (if resulting decrement of energy, $\Delta U < 0$) and in corresponding mass defect of impacted particle/ body; or “be added” resulting in t-IC increase if $\Delta U > 0$. Besides at the interaction the mediator transmits to the impacted particle a momentum, \vec{p}_0 .

2 Gravity model

2.1 Basic assumptions

It is possible to put forward, [1] rather reasonable conjecture - since the gravity force is universal (regardless to the kind of particles) - that the gravitational potential energy of a system of some bodies is proportional to the accidental coincidence rate of some interactions of the t-ICs of the particles of these bodies. Such coincidences always exist since the FLE’s flip-time is not equal zero. Secondly suppose that in gravity interaction only us-FLEs, i. e. the FLEs that are used for localization of particle in spacetime, take part.

Basing only on approach of section 1 and the conjectures above, the equation for potential gravitational energy can be obtained as follows.

As that was assumed above, the FLE’s sizes are equal to Planck’s length, l_p . Besides assume that:

(i) - at every t-IC step of a particle in space a “rim” (“circular graviton”, further “graviton”) of FLEs flips starts to expand *in the space* with radial speed that is equal to the speed of light, c , so the rim’s area is equal $2\pi r l_p$ ($2\pi c t l_p$) see Fig.1

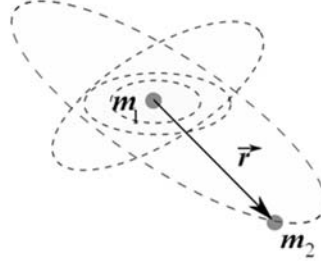


Fig. 1. A sketch of a spreading of the gravitons in the space. The direction of the spreadings is random since in reality any particle is impacted by some forces and isn’t oriented in the space constantly.

- (ii) - the times of the us-FLE’s flip, and of the interaction of the graviton’s FLE and particle’s us-FLE are the same and are equal to Planck time; and
- (iii) – at interaction of graviton and particle’s us-FLE the particle is gravitationally impacted.

2.2 The model. T-particles

According to Newton, if two bodies have *gravitational* masses m_1 and m_2 and are in space on a distance r , then the gravitational energy, E_{gN} , is equal

$$E_{gN} = -\frac{Gm_1m_2}{r}. \quad (4)$$

It is evident, that interactions of gravitons and particles’ us-FLEs are accidental events – coincidences of independent processes of “radiation” and spreading of gravitons of “radiating” particle and us-FLE flipping of other one. In previous papers ([1]-[4]) the coincidence rate in a particle was estimated in suggestion that both – the number of “gravitons” in a point, where a particle’s us-FLE flips, and the number of these us-FLE flips, are random; at that both numbers are distributed under Poisson law with the averages n_1 and n_2 . Then, if both [average] numbers inside Plank time interval are small, then it is well known that the coincidence rate is equal

$$N_c \approx 2n_1n_2\tau \quad (5)$$

In reality the particle’s us-FLEs flips very regularly; nonetheless the equation (5) remains be true, if one suggests that the interaction of graviton and particle’s us-FLE happens in any time moment when the both Plank intervals overlap (Fig. 2).

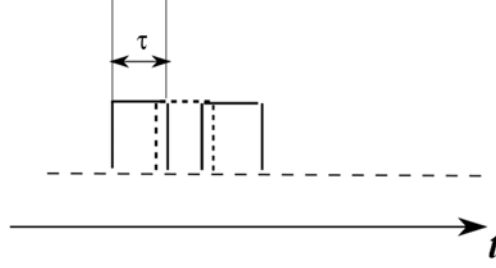


Fig. 2. Overlapping of gravitons and us-FLE

Thus the coincidence rate in a particle for the time when the particle's universal FLE flips again is

$$N_c = \psi_r n_p 2\tau \quad (6)$$

where ψ_r is the flow [s^{-1}] of gravitons through the particle's us-FLE; n_p is the us-FLE's flip rate (the informational current in the particle).

From the suggestions above obtain that the average gravitons flow, which is produced by a body having a mass m_1 on a distance r is equal

$$\psi_r = \frac{m_1 c^2}{\hbar} \frac{2\pi l_p r}{4\pi r^2} = \frac{m_1 c^2 l_p}{2\hbar r} \quad (7)$$

and the coincidence rate is

$$N_{c12} = \frac{m_1 c^2}{\hbar} \frac{l_p}{2r} \frac{m_p c^2}{\hbar} 2\tau = \frac{m_1 c^2}{\hbar} \frac{l_p}{2r} \frac{m_p c^2}{\hbar} 2 \frac{l_p}{c} = \frac{m_1 m_p c^3 l_p^2}{\hbar^2} \quad (8)$$

Since the Plank length is equal $l_p = (\frac{\hbar G}{c^3})^{1/2}$, from Eq.(8) obtain, that the coincidence rate in the particle is equal

$$N_{c12} = \frac{G m_1 m_p}{\hbar r} \quad (9)$$

It is evident, that if a body having mass m_2 contains any number of particles, then the coincidence rate in the body is equal

$$N_{c12} = \frac{G m_1 m_2}{\hbar r} \quad (9a)$$

Note that the masses m_1 and m_2 in the equations (9), (9a) above are the *inertial* masses

Since the interaction of the bodies is symmetrical, the coincidence rate in the first body is equal to the rate in the second one: $N_{c12} = N_{c21} = \frac{G m_1 m_2}{\hbar r}$, so total gravitational energy, defined here in the informational model, E_{gl} , seems as

$$E_{gl} = -\hbar(N_{c12} + N_{c21}) = -2 \frac{Gm_1m_2}{r}.$$

What, of course, contradicts the Newton gravity law, where, though, both masses are *gravitational* masses. But in reality, if there is no forces besides the gravity that affect on the bodies, the bodies' us-FLE flips must be spend on the bodies spatial motion also (with increasing of the bodies' kinetic energy), and so only half of total the coincidence rate transforms into the binding (potential) energy of the bodies. Thus obtain that the correct equation for this energy is

$$E_{gl} = -\frac{Gm_1m_2}{r} \quad (10)$$

and $E_{gl} = E_{gN}$, when this energy (and corresponding mass defect) is equally divided between the bodies:

$$E_{gl1} = E_{gl2} = -\frac{Gm_1m_2}{2r}. \quad (11)$$

Note that from above follows that *the gravitational and the inertial masses of a body are identical*, since both “are created” by the same informational current of the body.

For the gravitational forces by what the bodies attract each other obtain

$$F_{gl12} = \frac{dP}{dt} = -\frac{\hbar}{r} N_{c12} = -\frac{Gm_1m_2\vec{r}}{r^3} = F_{gl21}, \quad (12)$$

where P is momentum of a body, when suggesting that the transfer of the elementary momentum, $\vec{p}_0 = -\frac{\hbar\vec{r}}{r^2}$, happens at every interaction of the us-FLE and graviton.

Some examples

Substituting real values in the equation for the gravitons flow we can obtain the estimation of average number of gravitons, which cross the FLE's area, l_p^2 inside the interaction time:

$$\psi_r \tau = \frac{mc^2 l_p}{\hbar r} \tau \equiv \alpha \approx 7.46 \cdot 10^{-28} \frac{m[\text{kg}]}{r[\text{m}]},$$

and the probability of these gravitons number, k

$$P(k) = \frac{\alpha^k e^{-\alpha}}{k!}$$

The probability of two and more crossing is

$$P(k > 1) = 1 - e^{-\alpha} - \alpha e^{-\alpha} \rightarrow [\alpha \ll 1] \approx \alpha^2$$

For “usual” bodies α is rather small value. On the Sun’s ($M \approx 1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}; R \approx 7 \cdot 10^8 \text{ m}$) surface $\alpha \approx 4 \cdot 10^{-6}$ and the rate of “overlaps” $\sim 10^{-11}$; on Earth - $\sim 10^{-20}$. But for exotic objects the overlaps influence can be appreciable:

- for a neutron star (let - $M_{NS} = 2M_{Sun}; R = 1.2 \cdot 10^4 \text{ m}$) $\alpha \approx 0.25$, the rate is $\sim 7\%$ (rough estimate since the α value here isn’t small).

for (GR) black hole $r = \frac{2GM}{c^2}$ and $\alpha = 0.5$

What happens when the overlaps of gravitons appear? It seems that there are 3 possibilities: (1) – the us-FLE when flipping can react (i.e. flip) with all gravitons inside the interval (seems a little probability); (2) – the us-FLE reacts only with 1 graviton, the rest (>1) gravitons disappear; and (3) - the FLE reacts only with 1 graviton, but the rest gravitons remain and after “scattering” can interact with some other particle.

All these versions are some subject for further investigation provided that this gravity model will be confirmed experimentally.

From above follows that the informational currents of both bodies becomes be slowed on the half binding energy (divided by \hbar , of course). If the mass, M , of one of the bodies much greater then the other mass, m , the relative decrease of this body’s informational current is

$$\delta j_{i2} = \frac{GMm}{2\hbar r} \frac{\hbar}{mc^2} = \frac{GM}{2rc^2} \quad (13)$$

Correspondingly, if the body-2 is a clock, the clock becomes be “gravitationally time dilated” on $\frac{GM}{2rc^2}$ times, what is *twice lesser* then that is asserted in the general relativity theory.

If a pair of clocks are placed on different radii from M , r and $r+h; h \ll r$ in a gravity field (Fig. 3)

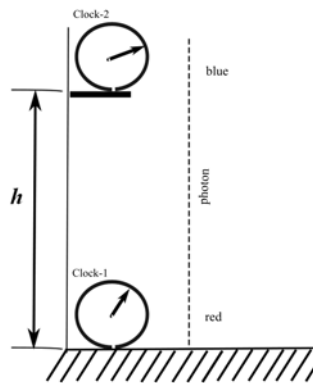


Fig. 3. Two clocks are in [let – Earth] gravity field. Dotted line – a photon beam.

then their relative tick rates differ as

$$\delta\omega_1 - \delta\omega_2 = \frac{GM}{2c^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+h} \right) \approx \frac{GMh}{2r^2c^2}. \quad (14)$$

For Earth surface $\delta\omega_1 - \delta\omega_2 \approx \frac{gh}{2c^2}$, where g is the gravitational acceleration. In the GR the

clocks' rates difference is twice more - $\delta\omega_1 - \delta\omega_2 \approx \frac{gh}{c^2}$.

2.3 The model. Photons

One of main postulates in general relativity is that photons don't change their energy and frequency when moving in a gravity field (e.g. [7]) and the application to a photon the notion "mass" as $m_{ph} = E/c^2$ in this case is principally incorrect. If photon has mass then it must increase or decrease energy at motion between space points with different gravitational potential. For example at motion on distance h (Fig. 3) straight up/down relating to Earth surface the photon's frequency also must change on the same value $\frac{gh}{c^2}$. So, if photons have mass and change energy in gravity field, then, e.g., in R. Pound, G. Rebka and J. Snider experiments [8, 9] the frequency shift of gamma quanta must be equal to $2\frac{gh}{c^2}$, since the emitter's and photon detector's atoms' nuclei frequencies differ also on the $\frac{gh}{c^2}$ - when the measured value was twice lesser – in accordance with the GR.

In the informational model photons are S-particles and move in the space only, at that they cannot – in contrast to the "massive" T- particles/ bodies – be stopped; the photon's energy is $E = \hbar\omega$ and, as that is true for any – T- or S-particle – the energy and the momentum of a photon relate as $E = cP$. As well as T-particle also have the energy $E = \hbar\omega \equiv \hbar[j_t]$, so here aren't principal difference between T- and S- particles. So in the informational model seems as quite reasonable the application of the notion "mass" for photons.

If we apply the approach above to the photons and suggest that the photon has mass $m = E/c^2$, then obtain equations for the photon the rate of coincidences

$$N_c = \frac{GMPc}{\hbar rc^2} = \frac{GM\hbar\omega}{\hbar rc^2}, \quad (15)$$

- for photon's part of the potential energy of a system

$$\Delta E = \frac{GM\hbar\omega}{2rc^2}, \quad (16)$$

and for the frequency shift ("red"/"blue") if the photon moves straight up/ straight down on a distance h (let – system [Earth+photon])

$$\Delta\omega \approx \mp \frac{GM\omega h}{2r^2c^2}, \text{ or } \delta\omega \approx \mp \frac{gh}{2c^2} \quad (17)$$

For the photon's momentum obtain

$$\Delta P \approx \pm N_c \frac{\hbar h}{r c} = \pm \frac{\hbar GM\omega h}{r^2c^3} = \pm P \frac{gh}{c^2} \quad (18)$$

where "+" relates to the straight down and "-" relates to straight up motions.

2.3.1 Photon beam declination in a gravity field

If a light beam moves by a mass M so that minimal distance is equal to ρ (Fig. 4),

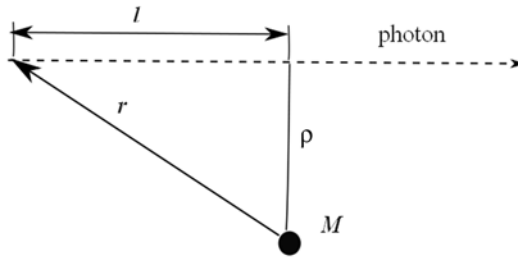


Fig. 4. A photon moves by the mass M on the distance ρ

then on the pass dl the photon's momentum changes on dP

$$dP = \pm \frac{\hbar GM\omega}{r^2c^3} dl = \pm P \frac{GM}{r^2c^2} dl, \quad (19)$$

at that for the vertical component of the momentum is

$$dP_v = \frac{GMP}{c^2} \frac{\rho}{(\rho^2 + l^2)^{3/2}} dl, \quad (20)$$

thus the integrated value, if l changes from $-\infty$ to $+\infty$ is

$$\Delta P_v = \frac{2GMP}{\rho c^2}. \quad (21)$$

If $\Delta P \ll P$ then the angle on what the beam will be declined is

$$\Delta\varphi \approx \Delta P / P = \frac{2GM}{\rho c^2}; \quad (22)$$

what is twice lesser then the estimation in general relativity.

3 Conclusion

Above the [draft] model of the gravity is presented, which follows only from a few rather general reasonable suggestions, which, in turn, are based on general corollaries of the informational conception; and which, in turn, is rigorously proven. So the obtained Eq. (10) by no means follows from both – from [experimental] Newton’s gravity law and from Planck’s approach at obtaining his “natural units”. Thus Eq. (10) seems as rather possibly non - accidental and so there is non- zero probability that it (and the model as a whole) is true.

From the model a number of interesting implications follow. First of all – the identity of the gravitational and the inertial masses, at least for the static case. If interacting bodies move, then the identity isn’t so evident, for example the inertia of moving body becomes be dependent on – on what direction relating to the motion direction the body is impacted.

However for the always moving particles, i.e., - photons, the model works well in the case, when a maximal gravity field gradient and a photon motion are on the same line, for example – if a photon moves vertically to Earth surface. At that (not only in this case, of course, though) on the photon’s energy/ frequency two factors act – the changing of the potential energy, i.e. the changing of N_c , (for the case in the Fig. 3 $\delta\omega \approx \pm \frac{gh}{2c^2}$; “+” for up and “-” for down) and the changing of the momentum, for the case in the Fig. 3 $\Delta P \approx \mp P \frac{gh}{c^2}$, what changes, of course, on the photon’s frequency also: $\delta\omega_p \approx \mp \frac{gh}{c^2}$. But the factors act oppositely – e.g., at the straight up motion the potential energy increases (the photon becomes bluer), but ΔP is negative and so the photon reddens. That results in the reddening of the photon and final frequency shift is $\delta\omega \approx -\frac{gh}{2c^2}$. On another hand, the clocks

(atoms) relative frequency shift cannot be equal to $\frac{GM}{rc^2}$, as that is posited in the GR, since then on equal value the potential energy of another body must be changed and total potential energy of the system of bodies turns out to be twice more then the real one, what is impossible. So relative clocks frequency shift (for the Fig. 3 case) is as it is in this model -

$$\delta\omega_2 - \delta\omega_1 \approx -\frac{gh}{2c^2}.$$

In Pound et. al. experiments above both these factors (changing of photon and detector’s atoms frequencies) summarized, what resulted in the famous outcome $\delta\omega_1 - \delta\omega_2 \approx \frac{gh}{c^2}$.

The general model for arbitrarily moving bodies, as well as – which complies also with the experimental data about the photon beams declination, if these data are reliable enough, should be developed on further elaboration of the model.

But the model can be effectively tested yet now – besides that it is obviously in accordance with outcomes of any experiments that tested the Newton law, it has the individual trait. From the model, where the gravity force is principally stochastic (in contrast to, e.g., the GR) follows the possibility to observe this randomness, when some very small masses interact. Possible – and executable yet now - experiments are presented in [10], [11]. At that the experiment with measurement of random photons frequency distortion in Earth gravity seems as utmost perspective and can be made now, since there exist necessary instruments and techniques: the stabilized photons sources [12], [13]; and precise interferometers. For example that could be the instruments intended for detection of the gravity waves [14]- [16], if an additional vertical (e.g., in a borehole) interferometer’s arm will be appended. Since in this case it is enough to have all arms having lengths $\sim 300\text{-}400$ m, TAMA300 detector [16] seems as at most (since lower cost) promising.

Besides – such an installation can be possibly used for testing of other models of quantum gravity.

Note, however, that the estimations of frequency shifts at gravity impact on photons that are presented in [10] and [11] can be incorrect. In principle there can be a number of cases, when the relation N_c for energy and N_c for momentum (“1/2”) holds. Besides the variant above, that can be variant in [10] and [11], where it was suggested that for the changing of j_t is necessary 2 us-FLE+graviton interactions, when the particle’s momentum changes each time; or a variant when N_c is twice lesser (e.g. if the probability of the coincidence twice lesser) but the elementary momentum is equal to $\vec{p}_0 = -\frac{2\hbar\vec{r}}{r^2}$, etc. In last case, for example, the minimal shift that in [10] is equal 3.7 Hz, would be equal to ~ 8 Hz, so the variants are, in principle, experimentally different.

Acknowledgements

Authors are very grateful to Professor M. S. Brodin, Institute of Physics of NAS of Ukraine, for support and useful discussions of the problems that were considered in this paper.

REFERENCES

- [1] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print <http://arxiv.org/abs/physics/0703043> (2007).

- [2] S V Shevchenko and V V Tokarevsky *Inform Physics does is possible?* (Conference XIXèmes Rencontres de Blois Matter and Energy in the Universe Blois, Loire Valley, France May 20th – May 26th Poster report) (2007).
- [3] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print [arXiv:1004.3712v1](https://arxiv.org/abs/1004.3712v1) (2010).
- [4] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print [arXiv:0707.4657v4](https://arxiv.org/abs/0707.4657v4) (2012).
- [5] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print [arXiv:1110.0003v3](https://arxiv.org/abs/1110.0003v3) (2013).
- [5] H Lyre *Time, Quantum and Information (Essays in Honor of C. F. von Weizsäcker)* (eds) L Castell and O Ischebeck (Berlin: Springer-Verlag) p 373 (2003).
- [7] L.B. Okun, K.G. Selivanov, V. L. Telegdi *Uspehi Physicheckich Nauk* **169** (10) 1141 – 1147 (1999)
- [8] R Pound, G Rebka *Phys. Rev. Lett.* **4**, 337 (1960)
- [9] R Pound, J Snider *Phys. Rev.* **B 140**, 788 (1965)
- [10] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print <http://arxiv.org/abs/0706.3979> (2011)
- [11] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print [arXiv:0707.4657v2](https://arxiv.org/abs/0707.4657v2) (2007).
- [12] A D Ludlow, X Huang., M Notcutt, T Zanon-Willette, S M Foreman, M. M. Boyd *et al. Opt. Lett.* **32**(6) 641 (2007).
- [13] A D Ludlow, T Zelevinsky, G K Campbell, S Blatt, M M Boyd, M H G De Miranda *et al. Science* **319**, 1805 (2008).
- [14] GEO600 home page <http://www.geo600.org/>
- [15] LIGO Scientific Collaboration home page <http://www.ligo.org/>
- [16] M Ando, K Arai, Y Aso, M Ando, K Arai, Y Aso, P Beyersdorf, K Hayama, Y Iida *et al.* e-print [http://arxiv.org/abs/gr-qc/0411027](https://arxiv.org/abs/gr-qc/0411027) (2004).

Информационная модель - гравитация

(The informational model – gravity)

Sergey V. Shevchenko^{1,2} and Vladimir V. Tokarevsky²

¹*Institute of Physics of NAS of Ukraine, Pr. Nauki, 46, Kiev-28, Ukraine*

²*Professor ret., Pr. Nauki, 46, Kiev-28, Ukraine*

Abstract In a number of our arXiv papers it was rigorously shown that Matter in our Universe – and Universe as a whole - are some informational systems (structures), which exist as uninterruptedly transforming [practically] infinitesimal sub-sets of the absolutely infinite and fundamental set “Information”. The conception enables to suggest a reasonable physical (“informational”) model that is based on the conjecture that Matter is some analogue of computer (more correct – some analogue of a [huge] number of mutually weakly connected automata). The conjecture, in turn, allows introducing in the model the basic logical elements that constitute the material structures (e.g., particles) and support the informational exchange - i.e. the forces - between the structures. The model yet now makes clearer a number of basic problems in physics; and, besides, enables to put forward rather reasonable model of the gravity force. In this paper more detailed and corrected version of the model is presented.

Key words: informational model, relativity theory, gravity, experimental testing

PACS: 01.70.+w, 03.30.+p, 04.80.Cc

1 Введение

В [1 - 3] было строго показано, что Материя в нашей Вселенной – и Вселенная в целом – есть некие информационные системы (структуры), которые существуют как непрерывно изменяющиеся [практически] бесконечно малые подмножества фундаментального абсолютно бесконечного Множества “Информация”. Данная информационная (“Информация как Абсолют” концепция) концепция позволяет предложить физическую модель (более см. [4],[5]), которая, основываясь практически лишь на Принципе неопределенности, адекватно описывает движение и взаимодействия частиц (тел) в пространстве-времени. В модели [субатомные] частицы есть некие замкнутые алгоритмы, которые выполняются на “hardware”, которое есть замкнутые цепи из элементарных логических схем – “фундаментальных логических элементов” (ФЛЭ), которые являются (отличными, впрочем) аналогами С. F. von Weizsäcker’s 1950-54 годов “Urs” [6]. Размеры ФЛЭ в пространстве-времени в обоих - в пространстве и в

² shevch@iop.kiev.ua ; sshev@voliacable.com

(“координатном”) времени равны Планковской длине, l_P , $l_P = \left(\frac{\hbar G}{c^3}\right)^{1/2}$ (\hbar - приведенная константа Планка – элементарное физическое действие, G – гравитационная константа, c - скорость света в вакууме); Время “переключения”(“flip”-

а) ФЛЭ равно Планковскому времени, $\tau_P, \tau_P = \frac{l_P}{c}$.

1.1 Частицы

Поскольку алгоритмы частиц никогда не останавливаются (ФЛЭ непрерывно флип-ают с постоянной частотой), частицы движутся в 4D пространстве-времени с постоянной скоростью, равной стандартной скорости света, c . Если частица находится в покое в пространстве, она движется с c только во временном направлении – “в потоке времени”. Как некий аналог “потока времени” выглядит подходящим ввести переменные “информационный ток” (ИТ); и “фиксированная информация”:

- временной ИТ (t-IC):

$$j_t = \frac{1}{\hbar} \gamma m_0 c^2, \quad (1)$$

- пространственный ИТ (s-IC):

$$j_x = \frac{1}{\hbar} \gamma m_0 c^2 \beta^2, \quad (2)$$

- фиксированная информация:

$$\Delta I_M = \frac{\Delta M}{\hbar}. \quad (3)$$

(v – скорость частицы, $\beta = v/c$, $\gamma = 1/(1 - \beta^2)^{1/2}$ - Лоренц-фактор частицы, ΔM – угловой момент, m_0 - масса покоя частицы. Размерность временного и пространственного ИТ [bit/s], размерность фиксированной информации [bit]). Кроме того, отметим, что фиксированная информация совершенно естественно относится также к физическому действию, S .

“Материальная” длина алгоритма частицы [в покое] равна Комптоновской длине

$$\text{частицы, } \lambda_C, \lambda_C = \frac{\hbar}{m_0 c}.$$

Таким образом, по замкнутой логической цепи частицы непрерывно движется некая активная “флир-точка”, имеющая импульс, $p_P, p_P = \hbar / \lambda_C = m_0 c$, и угловой момент (например – спин фотона), \hbar .

При этом частицы являются некими возмущениями “эфира”, который есть плотная 4D решетка из 4D ФЛЭ в пространстве-времени. Если в эфире некий ФЛЭ покоится

или флип-точка движется прямолинейно (во временном или пространственном направлении) то соответствующая “частица” имеет неопределенную/ бесконечную Комптоновскую длину; т.е. частица имеет нулевые массу покоя и импульс. Но результатом любого воздействия с ненулевым импульсом p на ФЛЭ будет рождение частицы – при импульсе во *временном* направлении это “обычная” материальная частица (“Т-частица”) с массой $m_0 = p' / c$; $p' \leq p$ и энергией $E = pc = \gamma m_0 c^2$; при *пространственном* импульсе образуется “S-частица”, например, фотон, также с энергией $E = pc$.

Комптоновская длина любой [из сегодня известных] частиц много больше Планковской длины, что позволяет “записать” некий индивидуальный код, который определяет свойства частицы, однако алгоритмы всех частиц содержат “универсально значимые” ФЛЭ- “us-ФЛЭ”, которые флип-ают в конце алгоритма, т.е. в конце Комптоновской длины. И именно эти ФЛЭ определяют положение частицы в пространстве-времени, кроме того, (см. далее) они ответственны также за гравитационное взаимодействие между частицами (и, конечно, – между телами)

1.2 Взаимодействия в информационной модели

В информационной модели вполне разумным оказывается предположение, что при взаимодействии соответствующая обменная частица действует на очередной t-IC шаг “принимающей” частицы так, что при этом данный шаг оказывается “затраченным” на взаимодействие с уменьшением t-IC (если результирующий декремент энергии, $\Delta U < 0$) и с соответствующим дефектом массы этой частицы / тела; или “добавленным” с увеличением t-IC если $\Delta U > 0$. Кроме того, при взаимодействии медиатор передает частице элементарный импульс, \vec{p}_0 .

2 Гравитационная модель

2.1 Базовые предположения

Далее в инфомодели вполне разумно предположить [1] – поскольку гравитация универсальна (независима от вида частиц) - что потенциальная энергия системы тел пропорциональна скорости случайных совпадений неких взаимодействий инфотоков t-IC частиц этих тел. Такие совпадения всегда существуют, поскольку флип-время ФЛЭ не равно нулю. Во-вторых, предположим, что в гравитационном взаимодействии

принимают участие только us-ФЛЭ, т.е. ФЛЭ, которые ответственны за локализацию частицы в пространстве-времени.

Основываясь на подходе в разделе 1 и предположениях выше, уравнения для гравитационного взаимодействия получаются следующим образом.

Как предположено выше, размеры ФЛЭ равны Планковской длине, l_p . Кроме того, предположим, что:

(i) – на каждом t-IC шаге “излучающей” частицы в пространстве начинает распространяться “кольцо” (“циркулярный гравитон” далее “гравитон”) флип-ающих ФЛЭ с радиальной скоростью равной скорости света, c , так, что площадь кольца равна $2\pi r l_p$ ($2\pi c t l_p$) см. Fig.1

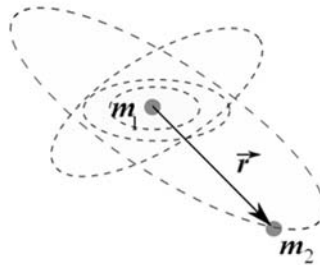


Fig. 1. A sketch of a spreading of the gravitons in the space. The direction of the spreadings is random since in reality any particle is impacted by some forces and isn't oriented in the space constantly.

(ii) – времена флипа ФЛЭ, и взаимодействия ФЛЭ гравитона и (принимающей частицы) us-FLE равны Планковскому времени; и
 (iii) – при взаимодействии гравитона и us-ФЛЭ частицы, частице передается элементарный “гравитационный” импульс.

2.2 Модель. Т-частицы

По Ньютону, если два тела, с гравитационными массами m_1 and m_2 находятся на расстоянии r , то гравитационная энергия, E_{gN} , равна

$$E_{gN} = -\frac{Gm_1m_2}{r}. \quad (4)$$

Очевидно, что взаимодействия гравитонов и us-ФЛЭ частиц есть случайные события – совпадения независимых процессов “излучения” и распространения гравитонов “излучающей” частицы и us-ФЛЭ флип-ов другой. В предыдущих статьях ([1]-[4]) скорость совпадений в частице оценивалась в предположении что оба – число гравитонов в точке, где флип-ает us-ФЛЭ частиц, и число флип-ов этих us-FLE,

случайны; при этом оба числа распределены по закону Пуассона со средними n_1 and n_2 . Тогда, если оба [средние] числа в пределах Планковского времени малы, то хорошо известно, что скорость совпадений равна

$$N_c \approx 2n_1n_2\tau \quad (5)$$

В действительности us-FLEs частиц флип-аут регулярно; тем не менее, выражение (5) остается верным, если предположить, что взаимодействие гравитона и us-ФЛЭ происходит в любой момент, когда оба Планковских интервала перекрываются (Fig. 2).

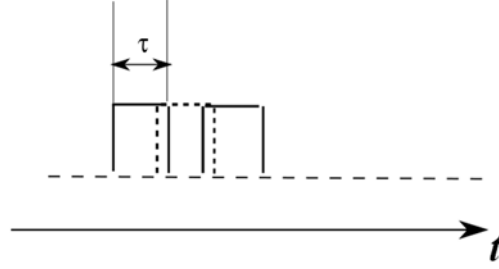


Fig. 2. Overlapping of gravitons and us-FLE

Таким образом, скорость совпадений в частице снова равна

$$N_c = \psi_r n_p 2\tau \quad (6)$$

где ψ_r - поток [s^{-1}] гравитонов через us-ФЛЭ частицы; n_p - частота us-ФЛЭ флип-ов (информационный ток частицы).

Из предположений выше получаем средний поток гравитонов, производимый телом с массой m_1 на расстоянии r равен

$$\psi_r = \frac{m_1 c^2}{\hbar} \frac{2\pi l_p r}{4\pi r^2} = \frac{m_1 c^2 l_p}{2\hbar r} \quad (7)$$

и скорость совпадений

$$N_{c12} = \frac{m_1 c^2}{\hbar} \frac{l_p}{2r} \frac{m_p c^2}{\hbar} 2\tau = \frac{m_1 c^2}{\hbar} \frac{l_p}{2r} \frac{m_p c^2}{\hbar} 2 \frac{l_p}{c} = \frac{m_1 m_p c^3 l_p^2}{\hbar^2 r} \quad (8)$$

Поскольку Планковская длина $l_p = \left(\frac{\hbar G}{c^3}\right)^{1/2}$, из Eq.(8) получаем, что скорость совпадений в частице равна

$$N_{c12} = \frac{G m_1 m_p}{\hbar r} \quad (9)$$

Очевидно, что если тело массой m_2 содержит любое число частиц, то скорость совпадений равна

$$N_{c12} = \frac{G m_1 m_2}{\hbar r} \quad (9a)$$

Отметим, что массы m_1 and m_2 в выражениях (9), (9a) выше – это *инерционные* массы.

Поскольку взаимодействия в телах симметричны, скорость совпадений в первом теле равна оной во втором: $N_{c12} = N_{c21} = \frac{Gm_1m_2}{\hbar r}$, так что полная гравитационная энергия, определенная выше в информационной модели, E_{gl} , выглядит как

$$E_{gl} = -\hbar(N_{c12} + N_{c21}) = -2 \frac{Gm_1m_2}{r}.$$

Что, конечно, противоречит закону Ньютона; впрочем, в последнем участвуют *гравитационные* массы. Но в реальности, если тела свободны, то под действием гравитации они движутся, при этом какие-то флипы us-ФЛЭ возможно тратятся на движение в пространстве (с возрастанием кинетической энергии), и только половина тратится на энергию связи (потенциальную энергию). Тогда получаем корректное выражение

$$E_{gl} = -\frac{Gm_1m_2}{r} \quad (10)$$

и $E_{gl} = E_{gN}$, при этом энергия (и соответствующий дефект масс) равно поделены между телами:

$$E_{gl1} = E_{gl2} = -\frac{Gm_1m_2}{2r}. \quad (11)$$

Отметим, что из вышеизложенного следует что *гравитационная и инерционная массы идентичны*, поскольку обе “создаются” одним и тем же информационным током тела.

Для гравитационной силы, с которой тела притягиваются,, получаем

$$\vec{F}_{gl12} = \frac{d\vec{P}}{dt} = -\frac{\hbar\vec{r}}{r^2} N_{c12} = -\frac{Gm_1m_2\vec{r}}{r^3} (= \vec{F}_{gl21}), \quad (12)$$

где P - это импульс тела, в предположении, что при каждом взаимодействии us-ФЛЭ и гравитона передается элементарный импульс $\vec{p}_0 = -\frac{\hbar\vec{r}}{r^2}$.

Некоторые примеры

Подставив реальные значения в выражения для потока гравитонов можно получить средние значения числа гравитонов, пересекающих площадь ФЛЭ, l_p^2 за время взаимодействия:

$$\psi_r \tau = \frac{mc^2 l_p}{\hbar r} \tau \equiv \alpha \approx 7.46 \cdot 10^{-28} \frac{m[\text{kg}]}{r[\text{m}]},$$

и вероятность числа пересечений, k

$$P(k) = \frac{\alpha^k e^{-\alpha}}{k!}$$

Вероятность двух и более пересечений

$$P(k > 1) = 1 - e^{-\alpha} - \alpha e^{-\alpha} \rightarrow [\alpha \ll 1] \approx \alpha^2$$

Для “обычных” тел α весьма мало. На поверхности Солнца ($M \approx 1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$; $R \approx 7 \cdot 10^8 \text{ m}$), $\alpha \approx 4 \cdot 10^{-6}$ и скорость “перекрытий” $\sim 10^{-11}$; на Земле - $\sim 10^{-20}$.

Но для экзотики влияние перекрытий может быть существенным:

- для нейтронной звезды (пусть - $M_{NS} = 2M_{Sun}$; $R = 1.2 \cdot 10^4 \text{ m}$) $\alpha \approx 0.25$, доля перекрытий $\sim 7\%$ (грубо, значение α value here не мало).

- для (ОТО) черной дыры $R = \frac{2GM}{c^2}$ и $\alpha = 0.5$

Что случается если перекрытие происходит? Видимо здесь возможны 3 варианта: (1) – us-ФЛЭ в течение флип-а может взаимодействовать (т.е. флип-ать) со всеми гравитонами в интервале (маловероятно); (2) – us-ФЛЭ взаимодействует только с 1 гравитоном, остальные (>1) пропадают; и (3) - us-ФЛЭ взаимодействует только с 1 гравитоном, но остальные остаются и после “рассеяния” могут взаимодействовать с другими частицами.

Все эти версии сегодня возможны и должны прорабатываться при дальнейшем развитии модели.

Таким образом, информационные токи обоих тел замедляются на половину энергии связи (поделенной на \hbar , конечно). Если масса, M , одного их тел много больше другой, m , относительное уменьшение информационного тока в меньшей массе равно:

$$\delta j_{12} = \frac{GMm}{2\hbar r} \frac{\hbar}{mc^2} = \frac{GM}{2rc^2} \quad (13)$$

Соответственно, если тело-2 это часы, то эти часы покажут “гравитационно

замедленное время” на величину $\frac{GM}{2rc^2}$, что в два раза меньше, чем это принято в общей

теории относительности. Если пара часов расположена на различных радиусах от M , r and $r + h$; $h \ll r$ (Fig. 3)

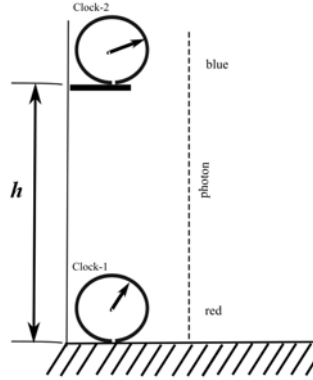


Fig. 3. Two clocks are in [let – Earth] gravity field. Dotted line – a photon beam.

То темпы тиков часов различаются как

$$\delta\omega_1 - \delta\omega_2 = \frac{GM}{2c^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+h} \right) \approx \frac{GMh}{2r^2c^2}. \quad (14)$$

На поверхности Земли $\delta\omega_1 - \delta\omega_2 \approx \frac{gh}{2c^2}$, где g - гравитационное ускорение. В ОТО

разница в два раза больше - $\delta\omega_1 - \delta\omega_2 \approx \frac{gh}{c^2}$.

2.3 Модель. Фотоны

Одним из основных постулатов ОТО есть то, что фотоны не изменяют энергию и частоту при движении в гравитационном поле (например [7]) и применение к фотону понятия “масса”, как $m_{ph} = E/c^2$ неверно. Если фотон имеет массу, то он должен увеличивать или терять энергию на пути между пространственными точками с различным гравитационным потенциалом. Например, при движении на расстояние h (Fig. 3) вверх/вниз относительно земной поверхности, его частота должна измениться на

то же значение $\frac{gh}{c^2}$. Таким образом, если фотон имеет массу и изменяет энергию в под

действием гравитации, тогда, например, в экспериментах R. Pound, G. Rebka and J.

Snider [8, 9] измеряемый сдвиг частоты гамма квантов должен был быть равным $2\frac{gh}{c^2}$,

поскольку частоты ядер атомов эмиттера и детектора также отличаются на $\frac{gh}{c^2}$ - в то

время как измеренный сдвиг в два раза меньше – в соответствии с ОТО.

В информационной концепции фотоны есть S-частицы и движутся только в пространстве, при этом они – в противоположность “массивным” T- частицам/ телам – не могут быть остановлены; энергия фотона $E = \hbar\omega$ и, как это верно для любых – T- от S-частиц – энергия и импульс соотносятся как $E = cP$. Как и фотон, T-частица имеет энергию $E = \hbar\omega \equiv \hbar[j_i]$, и здесь нет принципиальных различий между T- и S- частицами. Поэтому в информационной концепции выглядит вполне естественным применение понятия “масса” для фотонов.

Если применить подход раздела 2.2. для фотонов и предположить что фотон имеет массу $m = E / c^2$, получаем выражение для скорости совпадений в фотоне:

$$N_c = \frac{GMPc}{\hbar rc^2} = \frac{GM\hbar\omega}{\hbar rc^2}, \quad (15)$$

- для части фотона в потенциальной энергии системы:

$$\Delta E = \frac{GM\hbar\omega}{2rc^2}, \quad (16)$$

и для сдвига частоты (“красный”/ “синий”) если фотон движется вверх /вниз на расстояние h (пусть – системы [Земля+фотон])

$$\Delta\omega \approx \mp \frac{GM\omega h}{2r^2c^2}, \text{ или } \delta\omega \approx \mp \frac{gh}{2c^2} \quad (17)$$

Для импульса фотона получаем

$$\Delta P \approx \pm N_c \frac{\hbar h}{r c} = \pm \frac{\hbar GM\omega h}{r^2c^3} = \pm P \frac{gh}{c^2} \quad (18)$$

где “+” относится к движению вниз и “-” - вверх.

2.3.1 Отклонение фотонного пучка в гравитационном поле

Если свет проходит мимо массы M так, что минимальное расстояние равно ρ (Fig. 4),

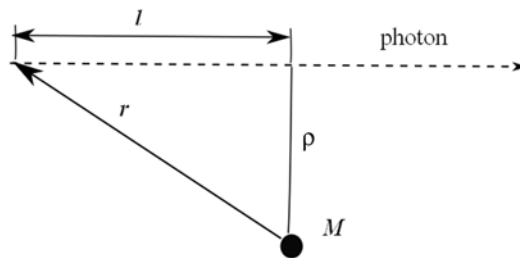


Fig. 4. A photon moves by the mass M on the distance ρ

то на пути dl импульс фотона изменится на dP

$$dP = \pm \frac{\hbar GM\omega}{r^2c^3} dl = \pm P \frac{GM}{r^2c^2} dl, \quad (19)$$

при этом изменение вертикальной компоненты

$$dP_v = \frac{GMP}{c^2} \frac{\rho}{(\rho^2 + l^2)^{3/2}} dl, \quad (20)$$

тогда интегральное значение, если l изменяется от $-\infty$ до $+\infty$ есть

$$\Delta P_v = \frac{2GMP}{\rho c^2} \quad (21)$$

Если $\Delta P \ll P$ то угол, на который пучок отклонится, есть

$$\Delta \varphi \approx \Delta P / P = \frac{2GM}{\rho c^2}; \quad (22)$$

что в два раза меньше оценки в общей теории относительности.

3 Заключение

Выше представлена модель гравитации, которая следует из небольшого числа весьма общих и вполне разумных предположений, которые, в свою очередь, основываются на общих следствиях информационной концепции; которая, в свою очередь, строго доказана. Полученное выражение (10) для потенциальной энергии гравитации никак не следует ни из [экспериментального] закона всемирного тяготения Ньютона ни из подхода Планка при получении им “естественных единиц”. Таким образом, выражение (10) выглядит весьма не случайным и есть весьма ненулевая вероятность, что использованный подход (и модель в целом) корректны.

Из модели следуют несколько интересных следствий. Прежде всего – идентичность гравитационной и инертной масс, по крайней мере – для статики. Если взаимодействующие тела движутся, идентичность не так очевидна, например инерция движущегося тела становится зависимой от того, в каком направлении относительно направления движения на тело действует сила.

Однако для всегда движущихся частиц, т.е. фотонов, модель работает хорошо, если максимальный градиент гравитационного поля и направление движения фотона параллельны, например – если фотон движется вертикально к земной поверхности. В этом случае (впрочем, не только в этом, конечно) на энергию/ частоту фотона действуют два фактора – изменение потенциальной энергии, т.е. изменение N_c (для

случая на Fig.3 $\delta\omega \approx \pm \frac{gh}{2c^2}$; “+” для вверх and “-” для вниз) и изменение импульса, для

случая на the Fig. 3 $\Delta P \approx \mp P \frac{gh}{c^2}$, что, конечно, также изменяет частоту what:

$\delta\omega_p \approx \mp \frac{gh}{c^2}$. Но факторы действуют противоположно – например, при движении вверх

потенциальная энергия увеличивается (фотон синеет), но ΔP отрицателен и таким образом одновременно фотон краснеет. В результате фотон краснеет и

результатирующий сдвиг равен $\delta\omega \approx -\frac{gh}{2c^2}$. С другой стороны, относительный сдвиг

частоты часов (ядер атомов в Pound et. al. эксперимент.) не может быть равным $\frac{GM}{rc^2}$,

как это утверждается в ОТО, поскольку тогда потенциальная энергия Земли должна измениться так же; и полная потенциальная энергия системы тел оказывается вдвое больше чем на самом деле, что невозможно. Поэтому реальный сдвиг (для случая Fig. 3)

есть в соответствии с данной моделью - $\delta\omega_2 - \delta\omega_1 \approx -\frac{gh}{2c^2}$.

В эксперименте Pound et. al. оба фактора (изменение частот фотона и детектора фотонов) суммировались, в результате чего был получен знаменитый результат

$$\delta\omega_1 - \delta\omega_2 \approx \frac{gh}{c^2}.$$

Общая модель для произвольно движущихся тел, которая также будет соответствовать экспериментальным данным по отклонению света в гравитационном поле, если эти данные будут достаточно надежны – это следующий этап разработки.

Тем не менее модель может экспериментально проверена уже сегодня – помимо того, что она очевидно согласуется со всеми экспериментами по проверке закона всемирного тяготения Ньютона, модель имеет специфические свойства, например в ней гравитационное взаимодействие принципиально стохастично (в противоположность, например, ОТО); откуда следует возможность наблюдения стохастичности, если взаимодействуют достаточно малые массы.

Возможные – и осуществимые сегодня – эксперименты рассмотрены в [10], [11]. При этом эксперимент с измерением случайной дисперсии частоты фотонов в поле Земли выглядит наиболее перспективным и может быть проведен в настоящее время, т.к. уже есть соответствующие методики и оборудование: стабилизированные источники фотонов [12], [13]; и прецизионные интерферометры. and precise interferometers. Например, это могли бы быть интерферометры для обнаружения гравитационных волн [14]- [16], если добавить в интерферометре вертикальное (например, в скважине) плечо. Поскольку в данном случае достаточно длин плеч ~ 300 - 400 m, ТАМА300 детектор [16] был бы наиболее (по стоимости) перспективным.

Кроме того, такая установка могла бы использоваться и в других экспериментах по квантовой гравитации.

Отметим, однако, что оценки сдвига частоты фотонов в гравитационном поле в [10] and [11] могут быть некорректны. В принципе возможно несколько вариантов, когда есть соотношение N_c для энергии и N_c для импульса (“1/2”). Кроме варианта выше, эо может быть вариант в [10], [11], где предположено, что для изменения j_t необходимо 2 us-взаимодействия ФЛЭ+гравитон, но изменение импульса частицы происходит каждый раз; или вариант, когда N_c в 2 раза меньше (например, если вероятность совпадений в 2 раза меньше), но элементарный импульс равен $\vec{p}_0 = -\frac{2\hbar\vec{r}}{r^2}$, т.п. В последнем случае, например, минимальный сдвиг, равный в [10], [11] 3.7 Hz, был бы ~8 Hz, так что варианты, вообще говоря, экспериментально различимы.

Acknowledgements

Authors are very grateful to Professor M. S. Brodin, Institute of Physics of NAS of Ukraine, for support and useful discussions of the problems that were considered in this paper.

REFERENCES

- [1] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print <http://arxiv.org/abs/physics/0703043> (2007).
- [2] S V Shevchenko and V V Tokarevsky *Inform Physics does is possible?* (Conference XIXèmes Rencontres de Blois Matter and Energy in the Universe Blois, Loire Valley, France May 20th – May 26th Poster report) (2007).
- [3] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print [arXiv:1004.3712v1](http://arxiv.org/abs/1004.3712v1) (2010).
- [4] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print [arXiv:0707.4657v4](http://arxiv.org/abs/0707.4657v4) (2012).
- [5] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print [arXiv:1110.0003v3](http://arxiv.org/abs/1110.0003v3) (2013).
- [5] H Lyre *Time, Quantum and Information (Essays in Honor of C. F. von Weizsäcker)* (eds) L Castell and O Ischebeck (Berlin: Springer-Verlag) p 373 (2003).
- [7] L.B. Okun, K.G. Selivanov, V. L. Telegdi *Uspеhi Physicheskich Nauk* **169** (10) 1141 –1147 (1999)
- [8] R Pound, G Rebka *Phys. Rev. Lett.* **4**, 337 (1960)
- [9] R Pound, J Snider *Phys. Rev.* **B 140**, 788 (1965)
- [10] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print <http://arxiv.org/abs/0706.3979> (2011)
- [11] S V Shevchenko and V V Tokarevsky e-print [arXiv:0707.4657v2](http://arxiv.org/abs/0707.4657v2) (2007).
- [12] A D Ludlow, X Huang., M Notcutt, T Zanon-Willette, S M Foreman, M. M. Boyd *et. al. Opt. Lett.* **32**(6) 641 (2007).
- [13] A D Ludlow, T Zelevinsky, G K Campbell, S Blatt, M M Boyd, M H G De Miranda *et al. Science* **319**, 1805 (2008).
- [14] GEO600 home page <http://www.geo600.org/>
- [15] LIGO Scientific Collaboration home page <http://www.ligo.org/>
- [16] M Ando, K Arai, Y Aso, M Ando, K Arai, Y Aso, P Beyersdorf, K Hayama, Y Iida *et.al.* e-print <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0411027> (2004).