



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ МЕДИЦИНСКИХ НАУКА

Андреја Вујанац

**Квантни ефекти свесне пажње на колапс функције
електромагнетног таласа**

Докторска дисертација

Ментор: Др сци. мед. Иван Срејовић, доцент

Крагујевац, 2019. година

ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

<i>I Аутор</i>
Име и презиме: Андреја Вујанац
Датум и место рођења: 31.10.1971. године, Нови Пазар, Република Србија
Садашње запослење: Општа болница, Нови Пазар, Република Србија
<i>II Докторска дисертација</i>
Наслов: Квантни ефекти свесне пажње на колапс функције електромагнетног таласа
Број страница: 103
Број слика: 14 слика, 15 табела, 21 графикон
Број библиографских података: 104
Установа и место где је рад израђен: Институт за физиологију, Факултет медицинских наука, Универзитет у Крагујевцу, Србија.
Научна област (УДК): Медицина
Ментор: др сци. мед. Иван М. Срејовић, доцент
<i>III Оцена и одбрана</i>
Датум пријаве теме: 26.02.2018. године
Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације: IV-03-449/11 од 06.06.2018.
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата: <ol style="list-style-type: none">1. Проф. др Небојша Здравковић, редовни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област Медицинска статистика и информатика, председник;2. Проф. др Владимир Јаковљевић, редовни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу, ужа научна област Физиологија, члан;3. Проф. др Тихомир Илић, редовни професор Медицинског факултета Војномедицинске академије Универзитета одбране у Београду за ужу научну област Неурологија, члан.
Комисија за оцену и одбрану докторске/уметничке дисертације: <ol style="list-style-type: none">1. Академик проф. др Зоран Поповић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду за ужу научну област Физичка електроника, председник;2. Доц. др Јована Јоксимовић Јовић, доцент Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Физиологија, члан;3. Проф. др Тихомир Илић, редовни професор Медицинског факултета Војномедицинске академије Универзитета одбране у Београду за ужу научну област Неурологија, члан.
Датум одбране дисертације:

САЖЕТАК

Увод: Квантни *double-slit* експеримент је ефекат посматрача на класичну Јунгову дифракцију. Колапс таласне функције подразумева редукцију суперпозиције стања функције електромагнетног таласа на једно стање дејством окружења. *Double-slit* експеримент се сматра за један од најлепших експеримената икада изведених.

Циљ: Доказати колапс таласне функције у интерактивном пољу фокусиране пажње мерењем одређених квантних параметара, као што су: корпускуларност, контраст, количник интензитета електричног поља, интензитет интерференције на графику спектралне снаге, квантна повезаност, Хајзенбергова неодређеност.

Материјал и методе: Експеримент се састоји од физичке и физиолошке поставке система. У физичком делу система вршила се регистрација зависних варијабли коришћењем линеарне *ccd* камере, док се у физиолошком систему обављала регистрација независних варијабли ради квантификације стања свесне пажње. Групе су подељене на контролну групу и три експерименталне групе: релакс група, група са субјектима у стању фокусиране пажње и група са субјектима у процедури регистрације когнитивног потенцијала П300, која је даље подељена на три подгрупе-Е100, Е300 и Е1000 према времену регистрације зависних варијабли. У експерименту је учествовало 26 субјеката, сва снимања су вршена током периода од 45 секунди током 10 независних студија односно сесија.

Резултати: Са изузетком групе са субјектима у стању релаксираних пажње, у свим осталим групама доказано је сигнификантно повећање корпускуларних особина електромагнетног таласа уз конкомитантно смањење интерференције и Хајзенбергове неодређености, као и пораст квантне заплетености између физичког и физиолошког квантног система у поређењу са резултатима у контролној групи. Фитовањем релације за јачину електричног поља на пукотинама дифракционе решетке показана је значајна промена у односу на контролну групу у свим експерименталним групама са изузетком релакс групе. Квантни параметри били су статистички сигнификантно измењени и током првих 100 милисекунди у процедури регистрације когнитивног потенцијала П300 доказујући *backward time referral* ефекат. Доказано је и дејство П300 потенцијала на вредности Бомове фазне разлике. Такође, у групи учесника у стању фокусиране пажње највећа промена квантних параметара регистрована је током прве три секунде од добијања вокалне команде за почетак концентрисања пажње. Независне варијабле показале су пораст ентропије и пораст детерминистичког хаоса.

Закључак: Дејством фокусиране пажње настаје колапс таласне функције, док значајна квантна повезаност указује на куплунг фотона, као и на спрегу физичког и неуронског квантног система. Доказана је и интервенција будућности на догађаје у прошлости. Промене вредности зависних варијабли рефлектују промене у неуронском квантном систему, тако да се оптички систем може користити за детекцију суптилних измена у свесној пажњи.

Кључне речи: квантна повезаност, дифракција, свесна пажња

ABSTRACT

Introduction: A quantum double-slit experiment is an observer effect on classical Young diffraction. Wave function collapse occurs when a wave function in a superposition of several eigenstates reduces to a single eigenstate due to interaction with the external world. The double-slit experiment is considered one of the most beautiful experiments ever performed.

Objective: To prove the collapse of a wave function in an interactive field of focused conscious attention certain quantum parameters were measured, such as: corpuscularity, visibility, the ratio of the electric field intensity, magnitude of interference on power spectral density graph, quantum entanglement, Heisenberg uncertainty.

Material and methods: The experimental procedure was divided into the physical and physiological set-up. In the physical part of the system, registration of dependent variables was performed by using a linear *ccd* camera, while in the physiological system, registration of independent variables was performed to quantify the state of conscious attention. The groups were divided into a control group and three experimental groups: relaxed attention group, concentrated attention group, and group for evaluating cognitive evoked potential effect on the double-slit system, which was divided into three subgroups according to time point at which data was recorded-E100, E300 and E1000. Twenty-six subjects took part in the experiment, which underwent every second recording of diffraction pattern during 10 sessions, each of 45 seconds duration.

Results: With the exception of the group with subjects in the state of relaxed attention, in all other groups there was a significant increase in corpuscular properties of the electromagnetic wave with a concomitant decrease in interference and Heisenberg uncertainty, as well as an increase in quantum entanglement between the physical and physiological quantum system compared with the results in the control group. The electric field ratio, which was calculated by fitting a basic equation for double slit diffraction, with exception for the relax group, showed a significant change in all experimental groups compare to control group. The quantum parameters were statistically significantly altered during the first 100 milliseconds in the cognitive evoked potential P300 registration procedure, proving a backward time referral effect. The effect of P300 potential on the values of the Bohm phase difference has also been demonstrated. Also, in concentrated attention group, the largest change in quantum parameters was registered during the first three seconds after participants started to concentrate their attention. Independent variables showed an increase in entropy as well as increase in pattern behavior known as deterministic chaos.

Conclusions: This study confirmed that focused attention causes the collapse of the wave function, while significant quantum entanglement indicates photon coupling, as well as the entanglement of the physical and brain quantum systems. Backward time referral effect has also been proven. Changes in the values of dependent variables reflect changes in the brain quantum system, so that the optical system can be used to detect subtle changes in conscious attention.

Key words: quantum entanglement, diffraction, conscious attention

Захваљујем се ментору, доц. др Ивану Срејовићу, и проф. др Владимиру Јаковљевићу без чије помоћи израда ове докторске дисертације не би била могућа.

Докторску дисертацију посвећујем мојим родитељима

САДРЖАЈ:

Увод.....	1
1.1. Појам колапса таласне функције и нелинеарних параметара свесне пажње	2
1.2. Класични <i>double-slit</i> експеримент	2
1.3. Квантни <i>double-slit</i> експеримент	5
1.4. Ефекат посматрача.....	7
1.5. Квантне основе свести.....	10
1.6. Детерминистички хаос и <i>double-slit</i> експеримент	12
1.7. Свесна пажња и <i>double-slit</i> експеримент	16
Циљеви и хипотезе истраживања.....	21
Материјал и методе.....	25
3.1. Физичка поставка експеримента	26
3.2. Физиолошка поставка експеримента	28
3.3. Испитиване групе коришћене у експерименту	30
3.4. Популација.....	31
3.5. Софтвер.....	33
3.6. Препроцесуирање зависних варијабли	33
3.7. Статистичке анализе.....	34
3.8. Зависне варијабли (физичке варијабли)	36
3.8.1. Интерференција (<i>interference</i>).....	36
3.8.2. Хајзенбергова неодређеност (<i>uncertainty</i>)	36
3.8.3. Корпускуларност (<i>corpuscularity</i>).....	37
3.8.4. Видљивост (<i>visibility</i>).....	37
3.8.5. Степен квантне повезаности (<i>entanglement</i>).....	37
3.8.6. А/В количник (<i>A/B ratio</i>)	37
3.8.7. Амплитуда пика (<i>peak amplitude</i>)	38
3.8.8. Удаљеност пика (<i>peak position</i>).....	38
3.8.9. Бомова фазна разлика	38
3.9. Независне варијабли	38
3.9.1. Средња вредност амплитуде ЕЕГ сигнала.....	38
3.9.2. Индекс ЕЕГ ритма.....	39
3.9.3. Просечна спектрална снага и коефицијент аутокорељације	39
3.9.4. Укрштена корелација ЕЕГ сигнала	39
3.9.5. Корелациона димензија 2 (CD2), Лијапунов експонент (<i>Lyapunov exponent</i>), Ентропија (<i>Entropy</i>).....	39
3.9.6. Когнитивни потенцијал П300	40
Резултати истраживања.....	41
4.1. Резултати физиолошког дела експеримента.....	42

4.2. Резултати физичког дела експеримента.....	55
4.3. Поређење физичких и електрофизиолошких резултата.....	71
4.4.Вредности Z скорa Бомове фазне разлике	76
Дискусија	78
Закључак	90
Литература.....	94

I

Увод

1.1. Појам колапса таласне функције и нелинеарних параметара свесне пажње

Основно полазиште овог истраживања је да се исходиште свести налази на фону софистициране квантне физике и да се спрега између квантног система мозга и спољашњег физичког система остварује путем квантне повезаности. Нелинеарни параметри свесне пажње, односно параметри детерминистичког хаоса, мерени су ради квантификације субјективних параметара свести, као што су фокусирана пажња и релаксирана пажња. На тај начин добијен је сет независних варијабли и пружена могућност да се пропрате експресије свесних активности учесника у експерименту на електрофизиолошком, односно макро плану и добије увид у евентуалну квантну повезаност са зависним варијаблама спољашњег физичко-оптичког система. Колапс таласне функције се дешава када се иницијална суперпозиција стања таласне функције редукује у једно стање због интеракције са спољашњим светом, односно када се редукују таласне особине уз истовремени пораст честичних, односно корпускуларних својстава електромагнетног таласа. Другим речима, без присуства посматрача вероватноћа позиције фотона електромагнетног таласа дефинисана је на основу Шредингерове (нем.*Erwin Schrödinger*) таласне једначине и представља квадрат амплитуде таласа, али након колапса функције Шредингерова једначина не диктира више понашање честице. Од значаја је да се нагласи да је још Де Брољ (франц.*Louis de Broglie*) 1924. у оквиру своје докторске тезе постулирао дуалистичку, тј. таласно-корпускуларну природу свих честица материје. Ово је супротно Аристотеловој реченици о неконтрадикторности, на коју се наука дуго ослањала и која гласи: “Није могуће да један атрибут истовремено припада и неприпада истом објекту”.

1.2. Класични *double-slit* експеримент

Класични *double-slit* (енг. *double-slit* - двострука пукотина) експеримент по први пут је демонстрирао Томас Јунг (енг.*Thomas Young*) 1801. године, при чему је уочио појаву дифракционих пруга. Јунг је овај експеримент представио Лондонском Краљевском удружењу 1803. године [1,2]. Клинтон (енг.*Clinton Davisson*) и Лестер (енг.*Lester Germer*) демонстрирали су дифракцију електрона 1927. године [3-6]. Класична *double-slit* дифракција свој образац рефлектује преко интерференционих минимума и максимума модулисаних дифракционом енvelopом. Класични *double-slit* експеримент

исказује се преко следећих релација: интерференциони максимуми се појављују само у случају ако је задовољен следећи услов:

$$d \sin \theta = n \lambda \text{ (једначина 1)}$$

Где је d размак између пукотина, θ угао, а λ таласна дужина електромагнетног таласа. Интерференциони минимуми се појављују ако је у питању следећи кондиционал:

$$d \sin \theta = \frac{(2n+1)\lambda}{2} \text{ (једначина 2)}$$

Интензитет дифракције у случају *single-slit* (једна пукотина) дифракционе решетке износи:

$$I(\theta) = I_{max} \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \text{ (једначина 3)}$$

$$\text{При чему је } \alpha = \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right) \text{ (једначина 4)}$$

У једначини број 4, a је ширина пукотине дифракционе решетке, I_{max} максимални интензитет интерференције.

Интензитет дифракције на *double-slit* дифракционој решетки који се добија на екрану може се представити путем следеће релације:

$$I = I_{max} \cos^2 \left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right) \left[\frac{\sin \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}} \right]^2 \text{ (једначина 5),}$$

a је ширина пукотине дифракционе решетке, d размак између пукотина, I_{max} максимални интензитет интерференције, а λ је таласна дужина. Интерференција је представљена косинусном функцијом у једначини 5 и одиграва се већом брзином $-\pi d y / \lambda$, при чему је y удаљеност од централног максимума, док дифракција има мању учестаност, односно брзину $-\pi a y / \lambda$, и представљена је синусном функцијом. Јачина електричног поља на свакој од две пукотине дифракционе решетке, може се приказати као:

$$E_1 = E_{10} \sin \omega t \text{ (једначина 6)}$$

При чему је E_{10} максимални интензитет електричног поља. На основу претходне једначине интензитет на екрану приказан путем израза број 2, може се приказати и на следећи начин:

$$I = (E_{10} + E_{20})^2 = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\theta) \text{ (једначина 7)}$$

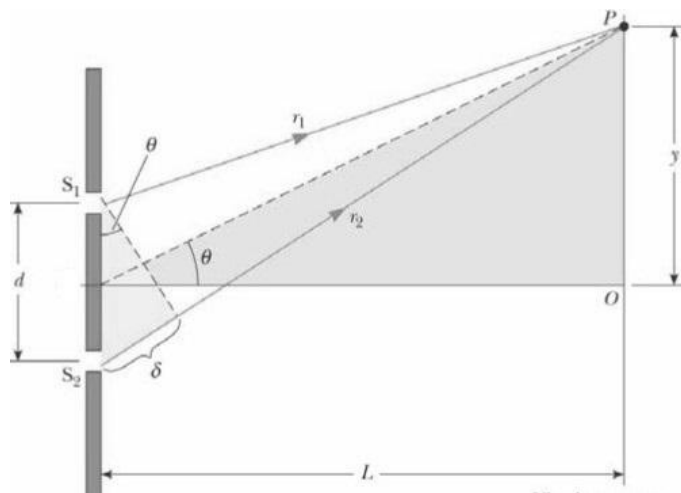
Описана класична *double-slit* дифракција подразумева постојање услова тзв. Фраунхоферове (нем. *Joseph von Fraunhofer*) дифракције [7]. Основни услов може се представити на следећи начин:

$$\frac{a^2}{L\lambda} \ll 1 \text{ (једначина 8)}$$

Квадратни корен у једначини број 7, представља интерференцију кондиционирану на следеће начине: ако је $\cos\theta > 1$ настаје конструктивна интерференција, док у случају да је $\cos\theta < 1$, настаје деструктивна интерференција. У граничном случају када је косинусна функција једнака нули онда је $I = I_1 + I_2$. Међутим, пошто Јунгова *double-slit* дифракција почива на просторној кохеренцији ($C_{12}(d)$), израз се може модификовати и представити на следећи начин:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\theta) C_{12}(d) \text{ (једначина 9).}$$

Претходна дискусија илустрована је на слици 1 где је приказана дифракциона решетка и путања два зрака електромагнетног таласа који интерферирају у тачки P на екрану.



Слика 1. S_1 и S_2 су две пукотине *double slit* дифракционе решетке, θ је угао дифракције, r_1 и r_2 је удаљеност од сваке од пукотина до екрана, y је удаљеност од централног максимума у тачки O до тачке P на екрану, d је константа дифракционе решетке и представља удаљеност између две пукотине, док је δ путна разлика између два светлосна снопа.

1.3. Квантни *double-slit* експеримент

Квантни *double-slit* експеримент је у почетку замишљен као мисаони и донекле модификовани Јунгов експеримент на двострукој пукотини. Постулиран је од стране Фејнмана (енг. *Richard Feynman*) и од стране истог физичара проглашен за најлепши и најмистичнији експеримент икада [8-11]. Квантни *double-slit* експеримент претпоставља декохеренцију или смањење интерференције услед квантне повезаности између *double-slit* физичког система и другог система, тј. детектора који врши детекцију путање кретања фотона електромагнетног таласа [12-14]. Ако претпоставимо да детектор одређује *which-way* (енг. *which-way* - који пут) информацију независно за сваку од две пукотине дифракционе решетке, онда се корпускуларност (енг. *distinguishability*) може представити на следећи начин:

$$D = \sqrt{1 - |\langle d_1 | d_2 \rangle|^2} \text{ (једначина 10)}$$

d_1 и d_2 су два независна *which-way* стања.

Уколико је контраст, односно видљивост интерференционих пруга мања утолико је и предвидљивост пута кретања фотона електромагнетног таласа већа, односно корпускуларна својства електромагнетног таласа су више изражена. I_1 и I_2 су интензитети светлости кроз сваку од пукотина *double-slit* дифракционе решетке. Уколико је испуњен услов да је $I_1 < I_2$ или $I_1 > I_2$ интерференција се смањује, док се *which-way* информација повећава. Немачки израз *welch weg* (нем. *welch weg* - који пут) је добро познати проблем у складу са Боровим (дан. *Niels Bohr*) принципом комплементарности [15,16]. Поменути параметар контраста (V) је у директној вези са корпускуларношћу (D) и изражава се путем прелепе Енглерт-Гринбергер-Јасинове (енг. *Englert-Greenberger-Yasin*) релације, наведену у даљем тексту као једначина 11 [17-20].

$$V^2 + D^2 \leq 1 \text{ (једначина 11).}$$

Видљивост се може представити и на следећи начин:

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} C_{12}(d) \text{ (једначина 12)}$$

Где су I_{\max} и I_{\min} максимални и минимални интензитет дифракције на екрану, а $C_{12}(d)$ је просторна кохеренција изражена као: λ^2/Ω , при чему је Ω просторни угао који је једнак количнику квадрата дијаметра и удаљености извора од дифракционе решетке.

Таласну функцију фотона (Ψ) пре доласка на дифракциону решетку можемо приказати на следећи начин:

$$\Psi = A \exp(ikx) \text{ (једначина 13)}$$

где је A интензитет електричног поља, i имагинарни члан, k таласни број, а x дистанца коју талас пређе.

Непосредно након проласка кроз *double-slit* дифракциону решетку таласна функција добија следећи израз:

$$\Psi = A_1 \exp(ikx_1) + A_2 \exp(ikx_2) \text{ (једначина 14)}$$

Где су A_1 и A_2 интензитети електричног поља на свакој од две пукотине дифракционе решетке.

Пошто се у складу са Борновим (нем. *Max Born*) правилом вероватноћа у квантној механици изражава као квадрат амплитуде таласне функције, онда се укупна вероватноћа одигравања дифракције на екрану може описати као:

$$P = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)\right) \text{ (једначина 15)}$$

Уз претпоставку да се у поставци *double-slit* експеримента користе честице без таласних карактеристика укупна вероватноћа распореда честица на екрану била би једнака простом збиру две вероватноће (за једну и другу пукотину дифракционе решетке), што је приказано на слици број 2. Класичан дифракциони образац у експерименту са *double-slit* решетком приказан је на слици 3. У класичној механици вероватноћа се изражава као збир две вероватноће, док се у квантној механици, као што се види из претходне релације, укупна вероватноћа представља као квадрат појединачних амплитуда. Последњи део израза у претходној релацији односи се на интерференцију два фотона електромагнетног таласа.

Један од првих доказа у корист квантног *double-slit* експеримента дао је Радин (енг. *Dean Radin*) са коауторима у чувеном експерименту са 21 учесником [21].

Партиципанти су имали задатак да током пар минута концентришу своју пажњу. Све ово је поновљено током 50 сесија.

Радин је притом мерио интерференцију коју је исказао као Z скор и као *effect size* (енг. *effect size* - ефекат величине) након ригорозних статистичких калкулација. Резултати су били импресивни и доказали су смањење интерференције у присуству свесног посматрача у стању концентрисане пажње. Такође, Радин је одредио и величину количника јачине електричног поља електромагнетног таласа на свакој пукотини *double-slit* дифракционе решетке, при чему је претпоставио да сваки скор односа два интензитета различит од јединице указује на промену у интерференцији. Резултати мерења ове варијабле били су такође статистички сигнификантни, недвосмислено указујући на колапс таласне функције у присуству свесног посматрача. Радин и коаутори извели су још неколико сличних студија са квантним *double-slit* експериментом [22-25]. Сличне резултате добио је и Гуерер (порт.*Guerrer*), али у експерименту са 156 учесника [26].

1.4. Ефекат посматрача

Ефекат посматрача постулиран је још у првим данима настанка квантне физике. Први нуклеарни физичари који су се позабавили овом појавом били су Нилс Бор и Хајзенберг (нем. *Werner Heisenberg*). Ови физичари поставили су темеље тзв. Копенхагенске теорије колапса функције електромагнетног таласа, односно слома суперпозиције у присуству посматрача [27-29]. Посматрач може бити и детектор. Физичари Вилер (енг. *John Archibald Wheeler*), Еверет (енг. *Hugh Everett*), Бероу (енг. *John D. Barrow*) и Типлер (енг. *Frank J. Tipler*) сматрају да се у квантном *double-slit* експерименту догађа колапс таласне функције, закључивши да је ефекат посматрача у сржи ове појаве. Мађарски физичар Вигнер (енг. *Eugene Paul Wigner*) тврдио је да је солипсизам конзистентан са начелима квантне механике. Такође, сличног размишљања био је и ирски филозоф Џорџ Баркли (енг. *George Berkeley*) познат по чувеној реченици-*Esse est percipi* (бити јесте бити опажен). Захваљујући постојању овог ефекта могуће је објаснити Хајзенбергов принцип неодређености и колапс таласне функције елементарних честица или електромагнетног таласа.

Принцип суперпозиције стања диктира неопходност одабира само једног стања у присуству посматрача.

Ово се може исказати путем следеће релације:

$$\Psi = \sum \psi_n \text{ (једначина 16)}$$

Где је n број суперпонираних стања.

Другим речима, у пруству посматрача обавља се мерење које изазива декохеренцију и колапс таласне функције. Мерење колапса таласне функције у *double-slit* експерименту може се обавити посредно квантификовањем интерференције, односа интензитета електричног поља електромагнетног таласа на свакој од пукотина дифракционе решетке, као и мерењем контраста односно корпускуларности електромагнетног таласа и вредности Хајзенберговог принципа неодређености. Контраст и корпускуларност су две комплементарне варијабле исказане у једначини 11, при чему збир њихових квадрата може бити једнак или мањи од 1. Ово значи, да уколико се видљивост, тј. контраст на екрану *double-slit* система смањује, повећава се могућност одређивања позиције фотона, тј. талас-честица дуалитет се помера у правцу корпускуларности [30-34]. Најефектнији начин да се израчуна видљивост у поменутом експерименту је путем мерења максималног и минималног интензитета интерференционих пруга на екрану, што је приказано путем једначине 12. Поменуто дејство мерења, односно посматрача на Хајзенбергов принцип неодређености исказује се бољим одређивањем позиције у односу на импулс фотона електромагнетног таласа.

Уколико је детектор прецизнији утолико је и ефекат на колапс таласне функције већи, односно корпускуларна својства фотона или друге честице у *double-slit* експерименту су већа.

Једна од најзанимљивијих појава везаних за *double-slit* експеримент је и могућност појаве интерференције чак и када се интензитет електромагнетног таласа редукује на вредност само једног фотона. Ова појава се објашњава могућношћу интеракције и интерференције фотона са самим собом. Прецизност мерења је веома добро описана у раду Кинкеда (енг. *Joschie Kincaid*) и коаутора и представљена је параметром σ , као што се види у следећој релацији [35].

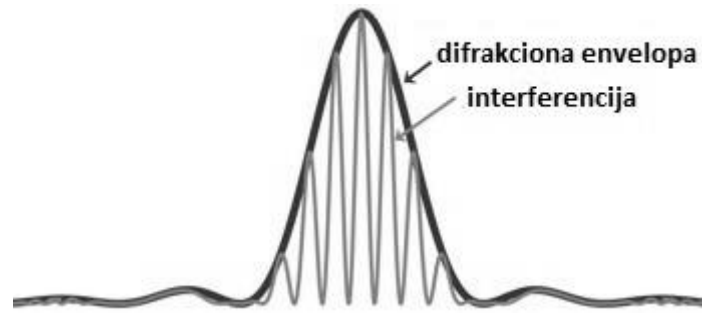
$$P_\sigma(x, t) = \Gamma_\sigma^{xt} \left(\cosh\left(\frac{2xL}{1+t^2}\right) + \beta_\sigma \cos\left(\frac{2txL}{1+t^2}\right) \right) \text{ (једначина 17)}$$

$$\Gamma_\sigma^{xt} = \frac{\exp\left(-\frac{x^2-L^2}{1+t^2}\right)}{\sqrt{\pi}\sqrt{1+t^2}} \text{ (једначина 18)}$$

Уколико σ тежи нули онда и β_σ такође тежи нули и уколико је прецизност мерења већа а интерференција на екрану у *double-slit* експерименту мања. Израз \cosh односи се на хиперболичну функцију косинуса и математички представља суму два Гаусова квантна пакета на пукотинама дифракционе решетке, док други члан збира представља интерференцију, t је време, L удаљеност од дифракционе решетке до екрана, x је удаљеност између централног максимума и максимума n -тог реда.



Слика 2. Распоред вероватноће на екрану у *double-slit* експерименту у случају емитовања честице без таласних својстава. Бимодална крива представља прост збир вероватноћа за сваки од два отвора дифракционе решетке.



Слика 3. Дифракциони образац на *double-slit* решетки са дифракционом енvelopом која одговара *single-slit* дифракцији и бржом осцилацијом која представља интерференцију.

1.5. Квантне основе свести

Квантне поставке свести су добиле на значају након изузетних пионирских радова на овом пољу од стране Хамерофа (енг.*Stuart Hameroff*) и Пенроуза (енг.*Roger Penrose*). Поменути аутори пошли су од опсервације да се након примене гасног анестетика халотана инхибирају микротубуле у неуронима централног нервног система. Ово опажање је послужило као основа за теорију која је микротубуле поставила као могуће извориште свести [36-39]. Идеја од које су пошли подразумева димерну структуру протеина тубулина и појаву Бозе-Ајнштајнових (енг.*Bose-Einstein*) кондензата у близини микротубула [40-42]. Наиме, микротубуле се састоје од две подјединице α и β тубулина који заједно граде хетеродимер. Семе микротубуле су цилиндричне структуре са особиним златног пресека. На основу радова физичара Пенроуза време које је потребно за декохеренцију суперпозиције у неурону може се израчунати као:

$$\tau = \frac{h}{2\pi E_G} \text{ (једначина 19)}$$

У наведеној једначини h је Планкова (нем.*Max Planck*) константа, док је E_G гравитациона енергија сепарације просторно-временског континуума на основу суперпозиције маса. Пенроузова теорија је слична Копенхагенској теорији слома суперпозиције у присуству посматрача.

Највећи критичар идеје о колапсу таласне функције у неуронима је Тегмарк (швед.*Max Erik Tegmark*), који сматра да се колапс суперпозиције дешава сувише брзо у поређењу са процесима у оквиру микротубула и да не може бити адекватно полазиште за идеју о квантној природи свести [43,44]. По прорачунима овог физичара

декохеренција суперпозиције дешава се током 10^{-13} секунди што је неупоредиво брже у односу на процесе у неуронима. Квантна основа свести била је полазна претпоставка овог експеримента, а која је индиректно доказана мерењем квантних параметара у спољашњем оптичком систему.

Quantum entanglement (енг. *quantum entanglement* – квантна повезаност) представља дејство на даљину, које се по својој природи рефлектује између било која два пара честица и дешава се тренутно без обзира на њихово растојање [45]. Ова квантна заплетеност се у мојој студији односи на везу између два фотона на дифракционој решетки, али истовремено рефлектује и квантну повезаност између оптичког и неуронског квантног система. Вероватноћа да су две честице повезане на основу прорачуна које је извео Ел Наши (егип. *Mohamed El Naschie*) износи 9% [46,47]. До ове вероватноће дошао је користећи Шмитову декомпозицију (нем. *Erhard Schmidt*) за две партикуле [48,49]. Приказана је у следећој релацији:

$$|\Psi\rangle = \alpha|+\rangle_1|+\rangle_2 - \beta|-\rangle_1|-\rangle_2 \text{ (једначина 20)}$$

При чему су α и β две константе које задовољавају следећи услов:

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1 \text{ (једначина 21)}$$

На основу ове релације вероватноћу квантне повезаности две партикуле Харди (*Lucien Hardy*) је бриљантно изведео и приказао путем једначине 22 [50-52].

$$\gamma = \left(\frac{(|\alpha| - |\beta|)|\alpha\beta|}{1 - |\alpha\beta|} \right)^2 \text{ (једначина 22)}$$

Вероватноћа максималне квантне повезаности две партикуле, на основу претходне релације, могућа само у случају ако је $\alpha=0,4211$, или ако је $\beta=0,9070$.

Изведене су и бројне модификације квантног *double-slit* експеримента, као што је мисаони Хардијев парадокс у коме две античестице имају извесну вероватноћу да прођу кроз дифракциону решетку без анахилације, затим временски *double-slit* експеримент у коме се дифракција одиграва кроз временску пукотину, а изведени су и експерименти са реверзним протоком времена. Све наведено је веома важно јер захваљујући томе овај експеримент заслужено носи свој епитет, односно како је рекао чувени Фејнман, *double-slit* у себи крије само мистерију.

Могуће дејство свести на интерференцију, односно на фазни помак интерференционих пруга, може се објаснити и дејством Ахаронов-Бомовог (енг. *Yakir Aharonov-David Bohm*) електричног ефекта, односно дејством когнитивног евоцираног

потенцијала П300 на физичко-оптички систем. Наиме, Бомов ефекат се ослања на дејство електричног потенцијала а не електромагнетног поља, као што је то случај у Максвеловој (енг.*James Clerk Maxwell*) теорији. У случају проласка елементарне честице кроз дифракциону *double-slit* решетку у присуству затвореног електричног потенцијала чија је вредност споља једнака нули, долази до помака у пређеном путу честице, или до фазног помака који се може измерити. У посебном случају могуће је детектовати и магнетни Бомов ефекат, када је вредност магнетног поља једнака нули, али не и вредност вектора магнетног потенцијала, при чему је резултат поново фазни померај.

1.6. Детерминистички хаос и *double-slit* експеримент

У случају свесног субјекта у *double-slit* експерименту, партиципираног као еквивалентну субституцију за детектор у ефекту посматрача, квантна повезаност је веома добро објашњење у смислу каузалности претпостављеног колапса таласне функције електромагнетног таласа од стране свесног посматрача, који је требало детектовати и правилно измерити. Да би субституција са детектором била адекватна, пошао сам од претпоставке да је количина информација са којом субјект у експерименту располаже заправо индикатор прецизности мерења у квантном *double-slit* експерименту.

Шенон (енг.*Claude Shenon*) је постулирао ентропију сигнала као еквивалент количине информација која је присутна у сигналу [53,54]. Описана ентропија добила је добар квантитативни израз израчунавањем комплексности сигнала, што је приказано путем следеће релације:

$$E = \frac{1}{\text{Log}N} \sum_{k=1}^n p \log p \text{ (једначина 23)}$$

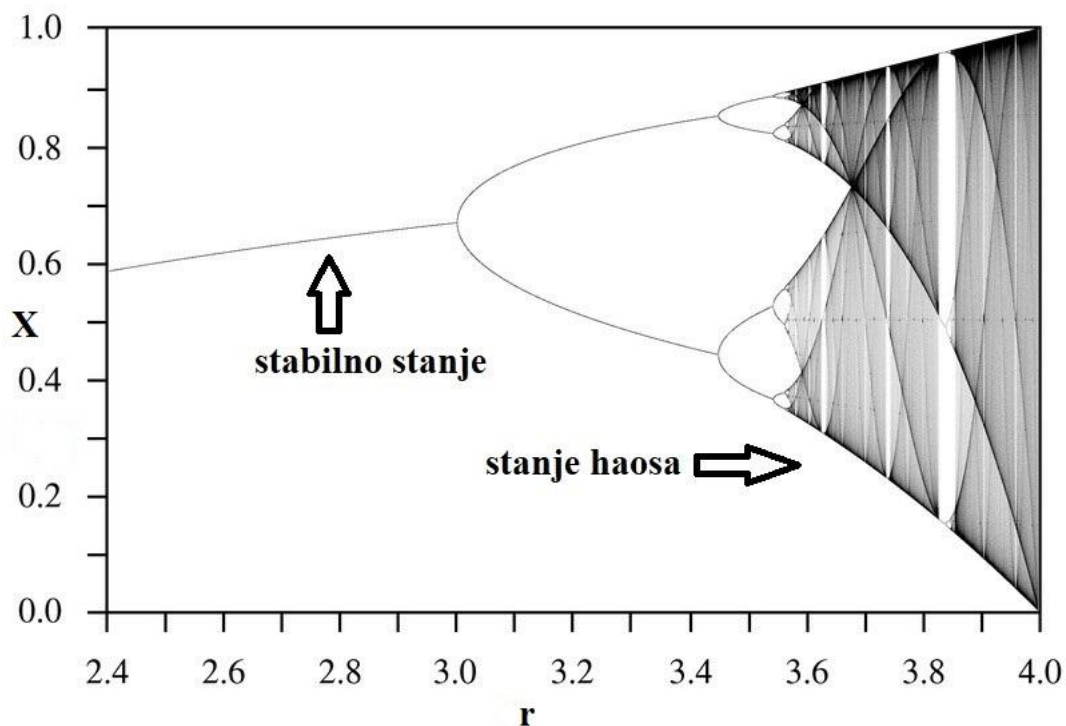
У претходној релацији p представља вероватноћу једне структуре, док је N укупан број ових структура.

Ентропија је максимална и износи $E=1$, уколико је вероватноћа просторно-временских структура приближна Гаусовој (нем.*Johann Karl Friedrich Gauss*) расподели. Поменута ентропија уводи нас у разматрање веома важне теорије детерминистичког хаоса. Наиме, систем који се налази у стању детерминистичког хаоса има једну парадоксалну особину, а то је да се његово понашање не може

предвидети познавањем почетних услова који владају у систему који испитујемо. Шта више, такав систем је веома осетљив на почетне услове. Амерички метеоролог Лоренц (енг. *Edward Norton Lorenz*) је проблем кретања ваздуха и његове турбуленције решио применом три диференцијалне једначине, чиме је на сцену увео потпуно нову теорију тзв. детерминистичког хаоса [55-63]. Наиме, уколико одређени систем следи правила наизглед једноставне функције приказане релацијом 24, може се уочити да се променом параметра r временом систем уводи у потпуно нестабилно и непредвидљиво стање познато као детерминистички хаос.

$$X_{n+1} = rX_n(1 - X_n); \quad X \in [0,1]; r \in [0,4] \text{ (једначина 24)}$$

Овај принцип неодређености који се намеће, веома је сличан Хајзенберговом принципу неодређености на микро плану, тј. у свету елементарних честица. На слици 4, приказан је детерминистички хаос, настао бифуркацијом услед повећања параметра r .



Слика 4. Бифуркацијом индукован детерминистички хаос.

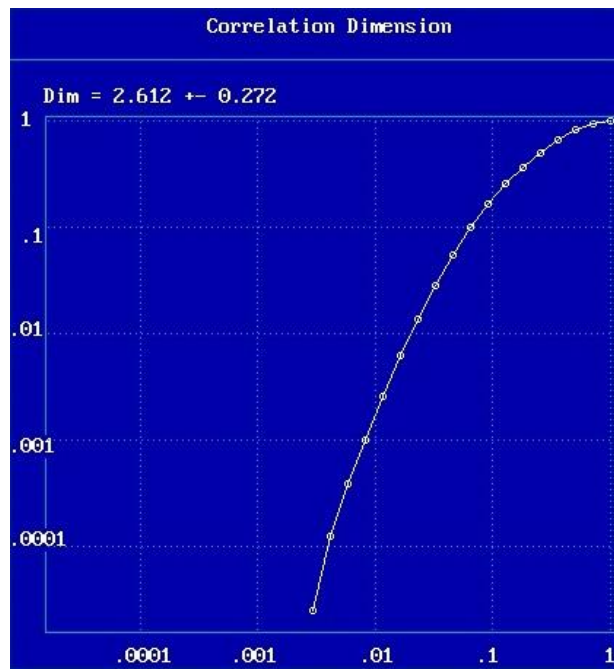
Детерминистички хаос се описује путем одређених нелинеарних параметара од којих су најзначајнији корелациона димензија 2 (CD2), Лијапунов (рус. *Aleksandr Mikhailovich Lyapunov*) експонент и поменута ентропија. Корелациона димензија 2

израчунава се применом Грасбергер Прокација (енг. *Grassberger-Procaccia*) једначине и она указује на корелисаност блиских тачака на атрактору [64-67]. Заправо, систем који делује у стању детерминистичког хаоса у фазном простору рави трајекторије које конвергирају једном објекту који се назива атрактор. Најпознатији је Лоренцов чудни атрактор (слика 5а). На сликама 5б, 5в и 5г приказани су описани параметри детерминистичког хаоса, одређени према вредностима добијеним у *FPI* ЕЕГ деривацији субјекта у стању концентрисане пажње употребом *Chaos Data Analyzer* софтвера. На слици 5б види се сатурација криве корелационе димензије 2 која је неопходна за коректну калкулацију вредности овог параметра. Ентропија на слици 5в је приказана на основу података из исте деривације и приказана је у односу на *embedding dimension* (енг. *embedding dimension* – уграђена димензија), која заправо представља минималну димензију неопходну за реконструкцију фазног простора, док је на слици 5г приказан Лијапунов експонент.

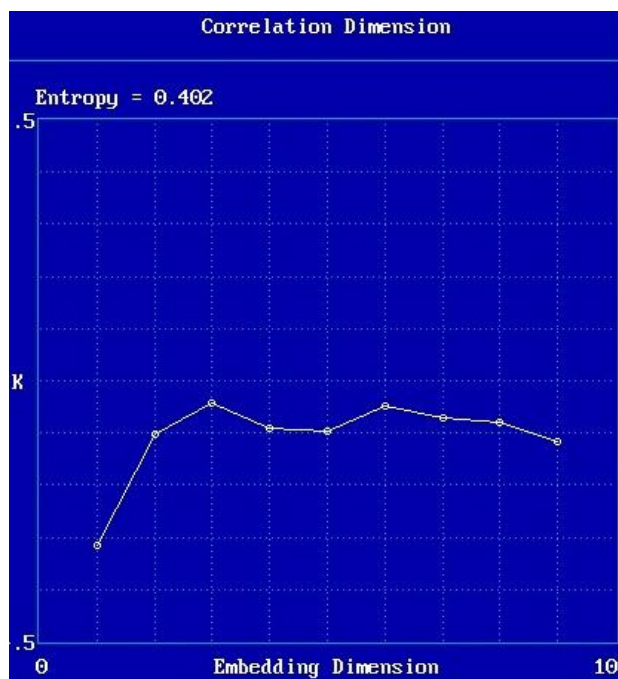
Значај детерминистичког хаоса у *double-slit* експерименту у присуству свесног посматрача је у томе, што се употребом ових нелинеарних параметара може квантификовати сигнал електроенцефалографа (ЕЕГ) и корелирати вредност ентропије са променама у квантним параметрима физичко-оптичког система са *double-slit* дифракционом решетком. То нам омогућује и увид у понашање неуронског квантног система на макро плану. Централни нервни систем ради у режиму детерминистичког хаоса, што претпоставља значајну осетљивост на почетне услове. У току епилептичних напада, вредност корелационе димензије, Лијапуновог експонента и ентропије се смањује, указујући на смањење комплексности у раду неурона и преласку из режима детерминистичког хаоса у квазипериодичан режим рада. Ово смањење параметара детерминистичког хаоса и комплексности система указује на губитак информација, што се најбоље може видети анализом ентропије.



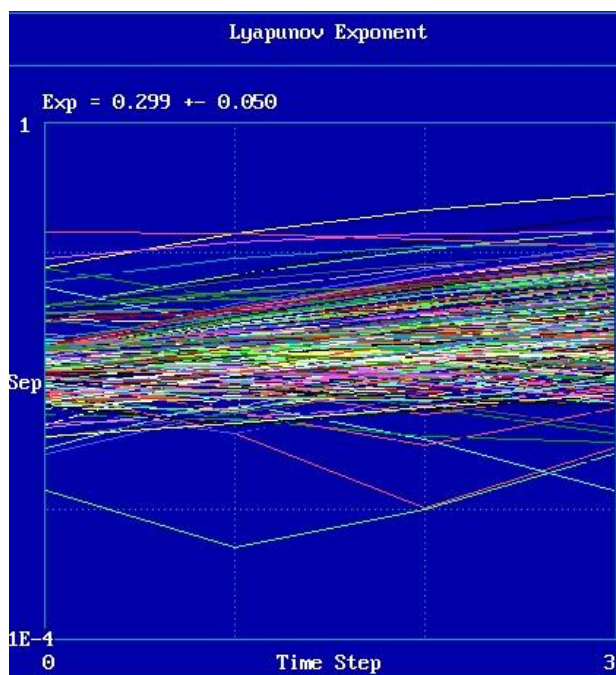
Слика 5а. На слици се виде трајекторије које конвергирају Лоренцовом чудном атрактору.



Слика 5б. Корелациона димензија 2 израчуната на основу података из *FPI* ЕЕГ деривације код субјекта у стању концентрисане пажње.



Слика 5в. Ентропија одређена према подацима из *FPI* ЕЕГ деривације код субјекта у стању концентрисане пажње.



Слика 5г. Лијапунов експонент одређен према подацима из *FPI* ЕЕГ деривације код субјекта у стању концентрисане пажње.

1.7. Свесна пажња и *double-slit* експеримент

По Џејмсовој (енг. *William James*) теорији есенцијални делови пажње су фокализација и концентрација свесног стања [68-70]. Пре описа значаја пажње за *double-slit* експеримент, неопходно је укратко описати мождане таласе који се региструју путем ЕЕГ. Постоје четири основна таласа на основу поделе базиране на њиховој фреквенцији:

- β (бета) ритам (13-35 Hz)
- α (алфа) ритам (7-13 Hz)
- θ (тета) ритам (4-7 Hz)
- δ (делта) ритам (0-4 Hz)

Поред ових основних таласа, постоје још два таласа:

- γ (гама) ритам (35-100 Hz)
- μ (ми) ритам (8-13 Hz)

Последњи описани μ ритам преклапа се по фреквенцији са α ритмом, али он рефлектује активност *mirror* неурона (енг. *mirror* – огледало) неокортекса. δ таласи се јављају током III и IV фазе спороталасног спавања, док је појачана активност θ таласа уочена током I фазе спороталасног спавања.

Интересантно је да се током фазе II спороталасног спавања појављује ζ (сигма) ритам фреквенције 12-14 Hz, који се суперпонира на основну активност таласа носача фреквенције 3-6 Hz у спектру θ таласа. Постоје три основна начина снимања ЕЕГ сигнала:

1. Регистровање ЕЕГ у фази мировања.
2. Регистровање просечних вредности ЕЕГ активности које су временски „закључани” у односу на презентујући сигнал (аудитивни, визуелни). Ова метода позната је и као регистровање евоцираних потенцијала.
3. Регистровање просечних вредности ЕЕГ сигнала применом комплексних стимулуса. Ова метода значајна је за регистрацију когнитивних евоцираних потенцијала.

Постоје бројни докази да су пажња и свесност директно повезани, на пример, када *target* (енг. *target* – циљ) стимулус привуче пажњу субјекта, други стимулус који га sukcesивно следи у темпоралним оквирима бива непримећен, што је појава позната као

attentional blink (енг. *attentional blink* – трептај пажње), коју су описали Рејмонд и сарадници [71].

Наравно, могући су и други сценарији које је подробно описао *Jeroen J.A. van Bohtel*, али публиковани су и резултати других истраживача [72-74]. У стању фокусиране пажње, на основу радова неких истраживача, расте амплитуда β таласа у ЕЕГ, док се истовремено смањује амплитуда и ритам δ и θ таласа ЕЕГ сигнала. Наравно, резултати нису усаглашени узимајући у обзир бројне контрадикторне налазе. За потребе ове студије измерени су електрофизиолошки параметри-амплитуда, спектрална снага, аутокорељација и унакрсна корелација ЕЕГ сигнала.

Когнитивни евоцирани потенцијали такође имају улогу *double-slit* експерименту, јер је њихово појављивање током релативно кратког временског периода од значаја за праћење утицаја ране свесне пажње на колапс таласне функције електромагнетног таласа у поменутом експерименту. Наиме, тзв. когнитивни евоцирани потенцијал П300 са латенцом појављивања од 300 милисекунди (300 msec) опште је прихваћени потенцијал свесности [75-77]. Као у раније поменутом случају са *attentional* блинк ефектом, слично “провлачење“ стимулуса испод прага свесности могуће је добити ако се намерно пажња усмерава на погрешно рецептивно поље, док се стимулус усмерава на друго сензорно подручје, при чему се потенцијал П300 не појављује.

Евоцирани потенцијали се изазивају дејством брзих стимулуса са рандомизираним појављивањем значајног стимулуса.

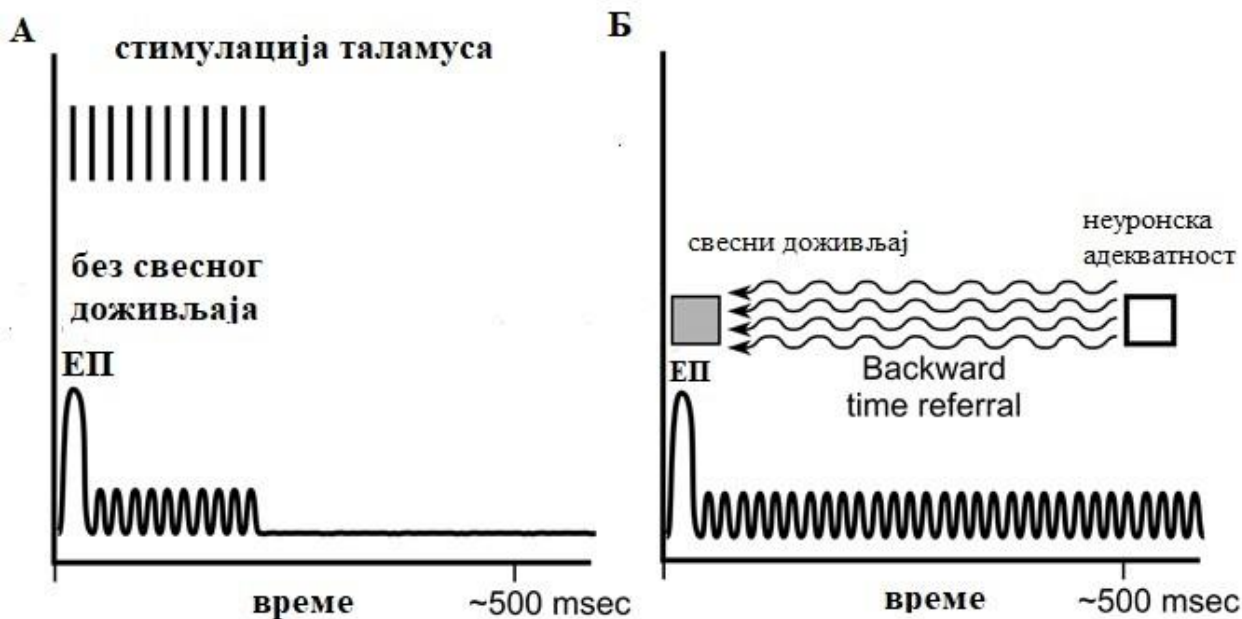
Први комплекс евоцираног потенцијала, представља специфични одговор на стимулус и састоји се од тројног комплекса одговора П1, Н1, П2 који се појављују током првих 100 милисекунди, при чему је овај комплекс прилично стабилан.

Други део евоцираног потенцијала представља Н2, затим Н3 и П3, односно П300 потенцијал, који су нестабилни и не изазивају се у одсуству свести или у одсуству свесне пажње. На пример уколико се субјект инструише да пажњу усмери на један прст, а тактилним стимулусом подражује други прст, овај догађај се може одиграти на фону потпуне несвесности оваквог догађаја од стране субјекта, што је истовремено електрофизиолошки пропраћено одсуством когнитивног потенцијала П300. Аудитивни евоцирани потенцијал је комплекс који се састоји од облигаторног комплекса П50, Н100 (Н1) и П200, евоцирани било којим звучним стимулусом и потенцијала П300 евоцираног нефреквентним и дистрактивним стимулусима.

П300 се састоји од П300а и П300б компоненте, при чему је П300а асоциран са невољном оријентацијом и инхибицијом одговора на нефреквентне, репетитивне или нове стимулусе, нерелевантне за постављени задатак испитиваног субјекта. У компарацији са наведеним, нефреквентни стимулуси елицитирају потенцијал, више паријетално дистрибуиран, који се означава као П300б [78,79].

Једна веома интригантна ствар везана за потенцијал свесности П300 јесте и чињеница да се осећај свесности ствара са краћом латенцом у односу на ону коју има овај потенцијал, односно свест се јавља са латенцом мањом од 100 милисекунди. Овај темпорални апсурд био је предмет изучавања од стране психолога Либета (енг. *Benjamin Libet*), који је снимајући потенцијале радећи на људима дошао до веома интригантног открића, означавајући га неологизмом – *backward time referral* (енг. *backward time referral*-уназад у времену) [80-82]. По резултатима до којих је дошао овај истраживач, могуће је да стрела времена делује ретроактивно, односно са интервенцијом будућности на догађаје у прошлости. Наиме, у случају изазивања тактилног евоцираног потенцијала, ако је при томе извршено кондиционирање стимулицијом соматосензорног медијалног лемнискуса таламуса, изостају кортикални потенцијали у неопходном временском одсечку од 500 милисекунди за појаву свесног доживљаја, што је Либет описао као изостанак неуронске адекватности. У другом случају, ако је електрофизиолошко кондиционирање изостало, продукују се кортикални потенцијали током периода од 500 милисекунди и самим тим јавља се свесни доживљај већ током првих 100 милисекунди. Претходна расправа приказана је на слици број 6.

Идеја је била да у експерименту испитам могућност да ли се ефекат свесног доживљаја заиста јавља током првих 100 милисекунди, мерећи ово индиректно преко квантних параметара у спољашњем физичком систему са *double-slit* решетком.



Слика 6. На графику А примењује се активна стимулација таламуса што резултује у регистрацији евоцираног потенцијала-ЕП, али изостаје свесни доживљај. На графику Б електрофизиолошка стимулација се не примењује што резултује у појави свесног доживљаја путем неуронске адекватности и *backward time referral* ефекта.

Када је у питању техника изазивања когнитивних евоцираних потенцијала, опште је прихваћени став коришћења *oddball* (енг. *oddball* – чудно) парадигме, која се заснива на примени серије стимулуса на које субјект не усмерава своју пажњу, и повременим презентовањем значајног стимулуса у потпуно рандомизираном поретку. При томе, у случају примене аудитивног стимулуса, као што је био случај у овој студији, примењена је парадигма са два стимулуса, односно два тона [83]. Несигнификантни и сигнификантни стимулуси се морају разликовати по фреквенцији и интензитету тона. Уколико је учесталост појављивања значајног стимулуса мања утолико је и амплитуда когнитивног евоцираног потенцијала већа.

II

Циљеви и хипотезе истраживања

Постављени су следећи циљеви истраживања:

1. Одредити утицај свесне пажње, изражену путем измерених електрофизиолошких и нелинеарних параметара, као и когнитивног потенцијала П300 на вредност магнитуде интерференционог “пика” на графику спектралне густине снаге физичког дела система, односно измерити интерференцију у физичком систему.
2. Израчунати утицај свесне пажње и когнитивног потенцијала П300 на вредност Хајзенберговог принципа неодређености физичког дела система.
3. Израчунати вредност параметра корпускуларности електромагнетног таласа у физичком делу система при дејству одговарајућих корелата пажње и когнитивног потенцијала П300.
4. Испитати утицај свесне пажње, изражену путем одговарајућих електрофизиолошких и нелинеарних параметара, на степен повезаности (*quantum entanglement*) два фотона на дифракционој решетки, односно између физичког и физиолошког дела система.
5. Методом нелинеарног фитовања једначине за *double-slit* дифракцију обе групе физичког дела система, одредити А и Б параметре јачине електричног поља, појединачно за сваки од два пута електромагнетног таласа кроз *double-slit* решетку. Однос А/Б различит од јединице указаће на смањење интерференције, а самим тим и на колапс таласне функције, што ће се статистички проверити.
6. Коришћењем когнитивног потенцијала П300, квантне повезаности два система и осталих квантних параметара проверити могућност Либетовог *backward time referral* ефекта.
7. Мерењем одговарајућих параметара у физичком делу система доказати могућност коришћења квантног *double-slit* експеримента у циљу детекције промена свесне пажње.
8. Испитати утицај електричног Бомовог ефекта на фазни померај у групи са регистрацијом когнитивних евоцираних потенцијала.
9. Измерити промене амплитуде на одређеном временском одсечку одговарајућих ЕЕГ таласа током дејства дуге фокусиране пажње учесника у експерименту, а затим их упоредити са резултатима добијеним у физичком делу система.

10. Испитати да ли је у групи субјеката са фокусираном пажњом и колапсом таласне функције ентропија ЕЕГ сигнала већа, што би одговарало већој прецизности мерења.

Хипотезе истраживања:

1. X_10 Претпоставка је да у присуству свесног посматрача активне и фокусиране пажње не настаје колапс таласне функције електромагнетног таласа приликом дифракције на *double-slit* решетки, изражен параметрима корпускуларности, контраста и интензитетом интерференције на графику спектралне густине снаге.
1. X_1A Претпоставка је да у присуству свесног посматрача активне и фокусиране пажње настаје колапс таласне функције електромагнетног таласа приликом дифракције на *double-slit* решетки, изражен параметрима корпускуларности, контраста и интензитетом интерференције на графику спектралне густине снаге.
2. X_10 Претпоставка је да се током евоцирањем когнитивног потенцијала, односно дејством брзе пажње не индукује колапс таласне функције током 100, 300 и 1000 милисекунди.
2. X_1A Претпоставка је да се евоцирањем когнитивног потенцијала П300 индукује колапс таласне функције током 100, 300 и 1000 милисекунди одражавајући се на промене дуалних особина електромагнетног таласа у експерименталној групи.
3. X_10 Претпоставка је да се у интерактивном пољу дејства фокусиране пажње и когнитивног потенцијала П300 неће смањити вредност Хајзенбергове неодређености.
3. X_1A Претпоставка је да ће се у интерактивном пољу дејства фокусиране пажње и когнитивног потенцијала П300 смањити вредност Хајзенбергове неодређености.
4. X_10 Претпоставка је да дејство фокусиране пажње и когнитивног потенцијала свесности П300 неће кореспондирати са квантном повезаношћу два система.
4. X_1A Претпоставка је да ће дејство фокусиране пажње и когнитивног потенцијала свесности П300 кореспондирати са квантном повезаношћу два система.
5. X_10 Претпоставка је да се количник јачине електричног поља (*A/B ratio*) ласерске светлости дуж пута кроз дифракциону решетку неће променити након дејства фокусиране свесне пажње и когнитивног потенцијала П300.

5. X_{1A} Претпоставка је да ће се количник јачине електричног поља (*A/B ratio*) ласерске светлости дуж пута кроз дифракциону решетку променити након дејства фокусиране свесне пажње и когнитивног потенцијала П300.
6. X₁₀ Претпоставка је да колапс таласне функције није највећи током почетних неколико секунди фокусирања пажње и да ово не корелира са променама амплитуде одређеног ритма ЕЕГ.
6. X_{1A} Претпоставка је да је колапс таласне функције највећи током почетних неколико секунди фокусирања пажње и да ово корелира са променама амплитуде одређеног ритма ЕЕГ.
7. X₁₀ Претпоставка је да когнитивни потенцијал П300 неће променити фазну разлику у експерименталној групи физичког дела система за вредност Бомовог фазног помераја у односу на контролну групу.
7. X_{1A} Претпоставка је да ће когнитивни потенцијал П300 променити фазну разлику у експерименталној групи физичког дела система за вредност Бомовог фазног помераја у односу на контролну групу.
8. X₁₀ Претпоставка је да се колапс таласне функције не дешава у групи субјеката са већом ентропијом ЕЕГ сигнала, односно већом прецизношћу мерења.
8. X_{1A} Претпоставка је да се колапс таласне функције дешава у групи субјеката са већом ентропијом ЕЕГ сигнала, односно већом прецизношћу мерења.

III

Материјал и методе

Квантни *double-slit* експеримент се састоји од два дела: физичке и физиолошке поставке експеримента. Током испитивања ова два дела су временски синхронизовани, односно снимања се врше током истог временског одсечка. Сва испитивања радила су се на скупу од 26 поставки физичког дела система и исто толико субјеката (физиолошки део система) током 10 студија односно сесија, при чему се снимање у физичком делу система обављало прво на контролној групи током 45 секунди, затим на физичком делу система и субјектима у стању релаксирани пажње током 45 секунди, потом на истим субјектима у стању фокусиране пажње током 45 секунди. Пауза између студија је произвољна. Последње мерење обављало се на истим субјектима и физичком делу система у циљу издвајања когнитивног потенцијала П300, такође у 10 студија, односно сесија. Свака нова поставка физичког дела система због могућих малих флукуација ласерског резонатора, као и због Гаусове природе трансверзалне амплитуде ласерске светлости и дејства квантних нелокалности представља узорак за себе.

3.1. Физичка поставка експеримента

- оптичка клупа са носачима – *Thorlabs dovetail optical rail*;
- диодни ласер – *Didactic laser DL1 red*, таласне дужине 635 nm, снаге 1mw, дијаметра снопа 4×2 mm;
- *double-slit* дифракциона решетка: промер пукотине, тј. константа решетке a – 0,1 mm, и међурастојања између пукотина, тј. константа решетке d – 0,5 mm, дебљине 100 μm ;
- неутрални филтер – *Thorlabs neutral density filter*, OD 3,0 и други неутрални филтер – *Thorlabs neutral density filter* оптичке густине OD 2,0;
- линеарна *ccd* (енг. *charge-coupled device* – уређај везан за пуњење) камера (*Thorlabs LC100 camera*, 2048 пиксела, величине пиксела 14×54 μm , спектралне осетљивости 350-1100 nm).

Удаљеност између дифракционе решетке и камере износила је 25 cm. Физички део система приказан је на слици 7.

За потребе студије у физичком систему обавила су се мерења на следећим групама:

1. Контролна група система у којој су се обавила регистровања свих зависних варијабли без присуства посматрача;
2. Експериментална група са оптичким системом у интерактивном пољу учесника у експерименту;

Све математичко-статистичке анализе у физичком делу система обављене су на подацима из контролне и експерименталне групе система, при дејству релаксиране пажње, фокусиране пажње и когнитивног потенцијала П300. Да би се формирала и правилно кондиционирала контролна група зависних варијабли, пре почетка мерења обављена је прецизна калибрација оптичког система. За потребе ове калибрације пре инсталације *Thorlabs* камере, коришћена је такође линеарна камера – *CCD Caliens camera POD010020*.

Ова камера служила је за калибрацију екрана у *XYZ* оси, због нешто мање осетљивости и лакше дефинитивне калибрације у односу на *Thorlabs* камеру. Код сваког мерења кохерентно поље ласерске светлости усмеравало се на два неутрална филтера ради редукције интензитета снопа за вредност 10^{-5} пре доласка на екран линеарне камере, чиме се спречава појава засићења пиксела линеарне *ccd* камере. На камери се мерио интензитет светлости, односно интерференционих максимума и минимума изражен преко бездимензионалне величине на скали од 0 до 1, као и растојање у пикселима преведено на милиметарску скалу ради даљих калкулација зависних варијабли.

Такође, прецизном калибрацијом снап ласерске светлости усмеравао се на центар линеарне *ccd* камере да би мерења интерференционих максимума и минимума била симетрична. Пре сваког експеримента ласер је био стабилизован непрекидним радом у трајању од 15 минута. Просторија у којој се вршило регистровање била је уједначене температуре и без извора електромагнетног зрачења. Приликом формирања физичког дела експеримента користиле су се поставке за потребе мерења оптичке дифракције у оквирима напредних лабораторијских испитивања, као и поставке описане у претходним радовима [84].

Интеграционо време камере сетовано је на 100 милисекунди. Сва мерења, осим код анализе дејства когнитивног евоцираног потенцијала П300, вршило се секвенцијалним снимањем интерференционих образаца сваке секунде током периода од 45 секунди у свакој од 10 сесија експеримента.

Снимање у групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала вршило се брзим секвенцијалним снимањем фреквенцијом од 10 снимака у минути, при чему су издвојени само они снимци регистровани током примене значајног аудитивног стимулуса. Ради правилне регистрације потребних параметара позадински шум се софтверски филтрира. Физички систем удаљен је 2 метра од учесника у експерименту.

3.2. Физиолошка поставка експеримента

За потребе регистрације електроенцефалограма коришћен је *Neuron Spectrum-4/epm* електрофизиолошка јединица (21канални електроенцефалограф са 9 полиграфских канала, брзина семпловања до 16 kHz), ЕЕГ капа и аудио-стимулатор (слика 7). Током мерења зависних варијабли контролне групе физичког дела система сви учесници су били физички одвојени од оптичке поставке експеримента. Пре мерења субјекти су припремљени за регистрацију обрадом површине поглавине коришћењем NuPrep гела (*Weaver and Company*) и кондуктивно-адхезивне пасте Ten20 (*Weaver and Company*). Електроде електроенцефалографског дела електрофизиолошке јединице пласиране су на површину поглавине, коришћењем електрофизиолошке капе са 21 електродом [85,86]. Сва мерења ЕЕГ сигнала и евоцираних потенцијала вршена су преко референтног система 10-20 и коришћењем *average electrode* (енг.*average electrode*-просечна електрода) као референтне електроде (слика 8).

Примењена је метода униполарног регистровања ЕЕГ потенцијала. Пре сваког мерења обавезна је била пробна регистрација на сегменту дужине 5 секунди ради софтверске елиминације артефаката.

Регистрација потенцијала вршила се током три процедуре:

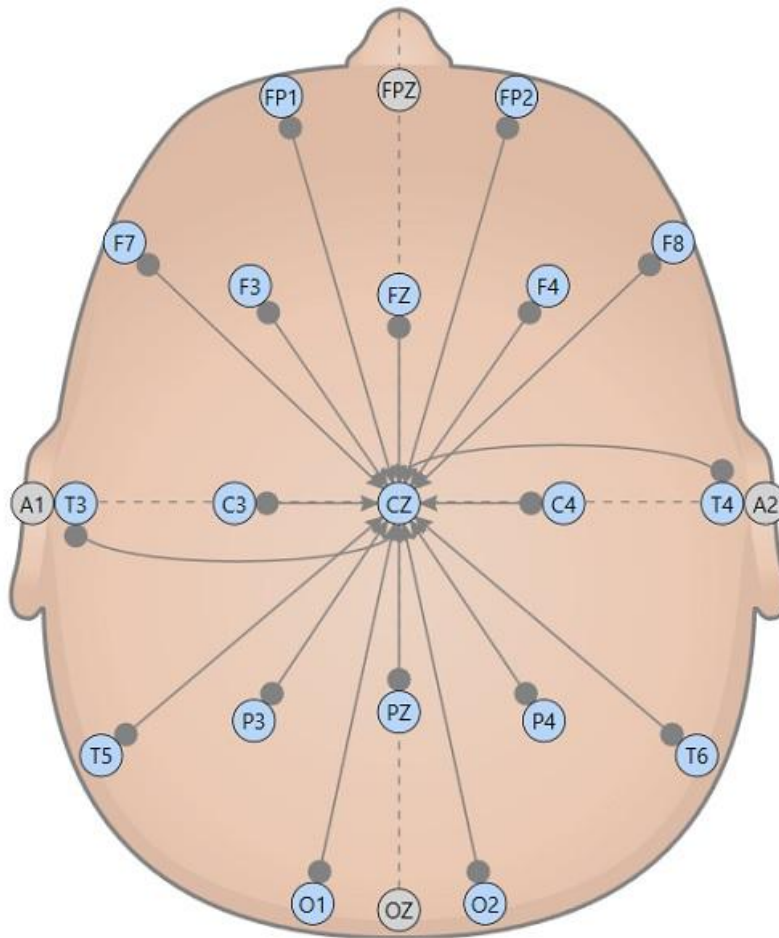
- Регистрација током 45 секунди код субјекта у стању фокусиране пажње, при чему је филтер велике пропустљивости (*high pass filter*) подешен на 0.5 Hz, филтер мале пропустљивости (*low pass filter*) на 35 Hz, *notch* филтер у позицији *on*, сензитивност је постављена на 10 $\mu\text{V}/\text{mm}$, брзина семпловања је постављена на 500 Hz, импеданца електрода била је у распону 4-10 k Ω ;
- Регистрација код субјекта у стању релаксиране пажње под истим условима као за претходну процедуру;

- Регистрација когнитивних евоцираних потенцијала, применом посебне *oddball* парадигме уз коришћење аудитивног стимулуса;

Аудитивни стимулус презентован за потребе регистрације когнитивног потенцијала П300 састоји се од значајног стимулуса, на чију појаву субјект фокусира своју пажњу, при чему су примењена следеће сетовања ЕЕГ уређаја-интензитет сигнала 100 dB, фреквенција 1500 Hz, трајање 1000 милисекунди и вероватноћом појаве од 30%. Незначајни стимулус имао је интензитет 80 dB, фреквенцију 1000 Hz и трајање 1000 милисекунди. Семпловање је вршено брзином од 1000 Hz, ниско пропусни филтер био је постављен на 75 Hz, високо пропусни филтер на 0.5 Hz, брзина освежавања била је сетована на 50 милисекунди, скала регистрације постављена је на 50 микроволти (50 μ V).



Слика 7. Поставка експеримента са физичким *double-slit* и физиолошким делом система.



Слика 8. Распоред електрода коришћењем стандардног 10-20 модела регистровања потенцијала при чему је *average* електрода коришћена као референтна.

3.3. Испитиване групе коришћене у експерименту

За потребе студије, сва мерења у физичком делу система подељена су на следеће групе:

1. **Контролна група** система у којој су обављена регистровања свих зависних варијабли без присуства посматрача.
2. **Експериментална група** са оптичким системом у интерактивном пољу:
 - а. релаксиране пажње
 - б. фокусиране пажње
 - в. когнитивног евоцираног потенцијала П300

Последња група подељена је на три подгрупе према времену у којем је начињен снимак односно регистрација интерференционог обрасца, и на основу којег су извршене калкулације зависних варијабли:

- E100-100 ms
- E300-300 ms
- E1000-1000 ms

3.4. Популација

У физиолошком делу система коришћена је група састављена од 26 субјеката. Основни услови за укључење испитаника у експеримент били су:

- субјекти морају бити пунолетни
- субјекти морају бити психички здрави
- субјекти морају бити десноруки

Искључујући услови били су:

- абзузус психоактивних супстанци
- психичка обољења
- поремећај слуха

Посебан услов представљао је и висок скор на тесту Телегенове (енг.*Auke Tellegen*) апсорпционе скале, која се састоји од формулара са 34 питања на која се одговара са да или не (тачан одговор је-да) и представља добру процену способности за обављање менталних задатака који изискују високу концентрацију пажње. Потпуно је једноставна и нешкодљива метода, за њу не постоје интерпретативне норме, али на основу клиничких искустава просечан скор је 20, тако да је услов за укључење у студију био скор већи од 20. Формулар Телегенове скале представљен је у табели 1. Учесници су били упознати са методологијом експеримента и дали су писмену сагласност за добровољно учествовање у експерименту. Испитивана популација, сходно мерењима у физичком и физиолошком делу система, представља део експерименталне групе која обухвата:

- субјекте у стању релаксиране пажње
- субекте у стању фокусиране пажње
- субјекте у процедури регистрације когнитивног евоцираног потенцијала П300

Табела 1. Телегенова скала са укупно 34 питања на која се у десној колони одговара са да или не.

Телегенова апсорпциона скала	ДА/НЕ
1. Понекад осећам и доживљавам ствари као у детињству	
2. Покреће ме елоквентан и поетичан језик	
3. Док гледам тв или слушавам музику заборавим на све око мене, и то доживљавам као да сам део њих	
4. Након посматрања неке слике доживљавам је као да је још испред мене	
5. Понекад се осећам као да мој ум може обухватити цео свет	
6. Волим да гледам разне облике облака на небу	
7. Могу тако живо да замислим одређене ствари да могу држати моју пажњу као неки филм	
8. Мислим да знам на шта поједини људи мисле када говоре о мистичним доживљајима	
9. Понекад “изађем” ван себе и доживим потпуно другачији облик постојања	
10. Текстуре попут вуне, песка или дрвета подсећају ме на боје или музику	
11. Понекад доживљавам ствари као да су више него стварне	
12. Када слушавам музику уживим се као да ништа друго не постоји око мене	
13. Ако пожелим могу замислити да је моје тело тако тешко да се не могу померити	
14. Понекад могу осетити присуство друге особе пре него што сам је заиста видео или чуо	
15. Пламени језичци ватре стимулишу моју машту	
16. Понекад се тако дубоко удубим у природу или науку тако да је моје стања свести привремено измењено	
17. Разне боје имају посебно значење за мене	
18. Понекад, радећи рутински задатак толико се удубим у своје мисли да после неког времена приметим да сам завршио задатак	
19. Понекад призовем прошле доживљаје са таквом јасноћом и живошћу као да су стварна	
20. Имам посебан осећај према стварима које другим људима немају значај	
21. Док глумим тако реално осећам емоције тих ликова, да за тренутак могу постати та особа	
22. Моје мисли често нису речи већ слике	
23. Често се одушевљавам малим стварима	
24. Док слушавам јаку музику понекад имам осећај као да сам на небу	
25. Понекад могу променити буку у музику на начин да је слушавам	
26. Мириси и укуси често призову нека моја веома жива сећања	
27. Поједина музика подсећа ме на слике или на боје	
28. Понекад знам шта ће неко рећи пре него што то стварно и каже	
29. Понекад имам “физичка сећања”, тако да могу осетити воду након пливања	
30. Звук гласа је често толико фасцинантан за мене да га могу дуго слушати	
31. Понекад осећам присуство особе која није ту	
32. Понекад ми долазе слике и мисли без имало мог труда	
33. Налазим да разни мириси имају различите боје	
34. Залазак сунце може ме дубоко дирнути	

3.5. Софтвер

Сва мерења у систему аквирирана су и обрађена коришћењем следећег софтвера:

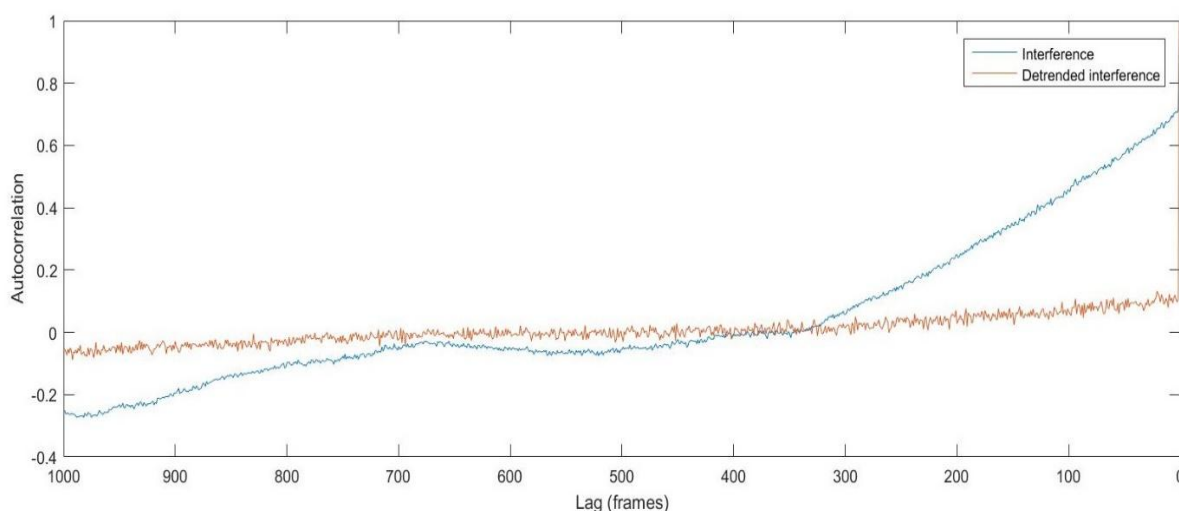
- *Chaos Data Analyzer (The Professional version 2.2 (c) 2012 by J.C.Sprott) academic software*
- *Dataplore (v.2.2-2 (c))*
- *Matlab (R2015b)*
- *Neuron-Spectrum EEG and EP Digital Neurophysiological System Software, Version 1.6.10.16 from 11.5.2017 (64-bit)*
- *Splicco software version 4.3.0*
- *Caliens program*

3.6. Препроцесуирање зависних варијабли

Зависне варијабле коришћене у овој студији показују значајну аутокорељацију, због чега је за потребе статистичких анализа било неопходно урадити процесуирање у циљу смањења аутокорељације. Прорачуном вредности Хурстовог (енг. *Harold Edwin Hurst*) експонента, који говори о дугорочним аутокорељацијским својствима временске серије, и вредности статистичке значајности аутокорељације за вредност почетног *time lag-a* (енг. *time lag* – временско кашњење) за контролну групу дошло се до података приказаних у табели број 2. Вредности Хурстовог експонента изнад 0.5, као и *p* вредности Бокс-Лџунг (енг. *Box-Ljung*) теста аутокорељације испод 0.05 указују на значајну аутокорељацију. Препроцесуирање је извршено методом линеарног детрендовања података, а да би се избегли нагли скокови фазе коришћена је метода *unwrap* (енг. *unwrap* – одмотати), после чега се добија континуална фазна функција. Вредности аутокорељације за параметар амплитуде интерференционог пика на графику спектралне густине снаге, као и за детрендоване вредности истог параметра за првих 1000 фрејмова контролне групе приказане су на слици 9. Може се уочити пад аутокорељације за детрендоване вредности у односу на податке са реалним вредностима. Применом описаног препроцесуирања добијени подаци су изгубили аутокорељацију и постали независни (на слици 9 то је крива обележена црвеном бојом), чиме су постали спремни за даљу статистичку обраду.

Statistical parameters	Variables				
	<i>Corpuscularity</i>	<i>Entanglement</i>	<i>Uncertainty</i>	<i>Interference</i>	<i>A/B ratio</i>
Hurst exponent	0.904	0.901	0.873	0.872	0.907
p	<0.01	<0.01	0.013	<0.01	<0.01

Табела 2. Вредности Хурстовог експонента и статистичка значајност аутокорељације временске серије зависних варијабли у контролној групи.



Слика 9. Приказане су две криве за параметар амплитуде интерференције, пре (плава крива) и после (црвена крива) детрендовања за првих 1000 фрејмова.

3.7. Статистичке анализе

Дистрибуција података проверена је коришћењем Шапиро-Вилковог (енг.*Shapiro-Wilk*) статистичког теста. Полазећи од чињенице да су сви подаци стохастички независни, захваљујући методи препроцесуирања, све зависне варијабле из експерименталне групе физичког дела експеримента поређена су са комплементарним подацима из контролне групе коришћењем Мен-Витни (енг.*Mann-Whitney*) U теста. Z скор добијен овим тестом за сваку варијаблу посебно означен је као $Z(v)$ скор. Овај скор је затим трансформисан у композитни $Z(c)$ коришћењем Z скорa фазе интерференције ($Z(ph)$) на основу следеће релације:

$$Z(c) = \frac{Z(v)+Z(ph)}{\sqrt{2}} \text{ (једначина 25)}$$

Штоферов (енг.Samuel A.Stouffer) $Z(s)$ скор са све сесије (N) одређен је потом коришћењем једначине 26:

$$Z(s) = \sum_{i=1}^N \frac{Z(c)_i}{\sqrt{N}} \text{ (једначина 26)}$$

Коначно, да би се избегли артефакти и грешке услед статистичких осцилација од мерења до мерења Штоферов скор упоређен је са компјутерски одређеним скором коришћењем методе циркуларног непараметарског *bootstrap* теста (енг. *bootstrap* - гл. помоћи сам себи, им. гајка на чизмама). Циркуларни бутстрап је екстензија бутстрапа са покретним блоком при чему су постигнуте боље особине коначног узорка јер су подаци семпловани са подједнаком вероватноћом, при чему се они налазе на кругу и задовољавају услов да је $y(t+1)=y_1$, $y(t+2)=y_2, \dots$ итд. *Bootstrap* је веома тешко преводив израз и настао је на основу приче о барону Минхаузену, по којој је он наводно сам себе извукао са дна језера повлачећи своје чизме. Ова метода се дели на параметарску и непараметарску процедуру, при чему параметарска подразумева познавање дистрибуције па се вредности замењују новим уз очување основне расподеле. Међутим, ова процедура је за овај експеримент неприхватљива обзиром да се вредности добијене у физичком делу система не смеју мењати, већ их је потребно само ресемпловати ради добијања статистички случајног узорка. На овај начин добијен је рандомизирани артефицијални вектор података за све групе, тако што су подаци за сваку варијаблу понаособ пермутовани током 1000 циклуса, а затим поново обрађени коришћењем Мен-Витни теста за сваку од пермутација. Тако су у почетку добијени нови резултати Мен-Витни теста, а затим су они обрађени као што је претходно описано за реалне податке, коришћењем релација 25 и 26. За овако добијену популацију артефицијалног Штоферовог скор одређена је средња вредност- μ и вредност стандардне девијације- sd .

Укупни нови Z скор одређен је коришћењем следеће релације:

$$Z = \frac{Z(s)-\mu}{sd} \text{ (једначина 27)}$$

Поменуте анализе су у домену мета анализа, тако да је за потребе студије било неопходно одредити и вредност *effect size* што је учињено дељењем претходног скор са квадратним кореном броја сесија, односно студија. Стандардна грешка настала

током мерења *effect size* процењена је на основу реципрочне вредности квадратног корена броја студија, тако да је она иста за сва мерења. У намери да се добије што прецизнији резултат, сва наведене калкулације су поновљене методом померања вредности из експерименталне групе уназад за један током периода од 11 секунди, чиме је добијен увид у кретање скорa из једначине 27 током првих неколико секунди нао што су учесници у првој експерименталној групи, тј. у групи са фокусираном пажњом добили команду да започну концентрацију своје свесне пажње. Вредности зависних варијабли изражене су као свеукупна средња вредност током свих десет студија±стандардна девијација. Независне варијагле изражене су као средња вредност±стандардна девијација. Поређења независних варијабли, односно нелинеарних параметара ЕЕГ извршена су коришћењем Фридмановог (енг.*Milton Friedman*) теста за поновљена мерења. Статистичка сигнификантност је постављена на вредност $p < 0.05$. Све статистичке анализе извршене су коришћењем IBM SPSS Statistics Version 23 и Matlab (R2015b) софтвера.

3.8. Зависне варијагле (физичке варијагле)

3.8.1. Интерференција (*interference*). Вредности интерференционог пика изражене у децибелима (dB) на графику спектралне густине снаге, добијају се путем Фуријеове (франц.*Jean-Baptiste Joseph Fourier*) трансформације и логаритмовања. Ова последња процедура неопходна је ради отклањања сметњи током регистрације, односно тиме се анулирају дејства околине (температура, електрична поља, итд.) на дифракцију. Први максимум на графику спектралне снаге одговара споријој фреквенцији дифракције, док други максимум и његови хармоници одговарају бржој фреквенцији интерференције која представља тражену варијаглу која се мерила у мојој студији.

3.8.2. Хајзенбергова неодређеност (*uncertainty*). Неодређеност се изражава у јединицима JS и рефлектује се кроз релацију:

$$\Delta P * \Delta X \gg \frac{h}{4\pi} \text{ (једначина 28)}$$

где је ΔP неодређеност импулса, ΔX неодређеност координате, а h Планкова константа. Фотон који пролази кроз пукотину има неодређеност координате $\Delta X = a$, где је a ширина пукотине, док је неодређеност импулса:

$$\Delta P_y = \frac{h}{\lambda} \sin \Theta_1 \text{ (једначина 29)}$$

У релацији 29, Θ_1 је угао првог максимума.

За потребе студије неодређеност се мерила као производ стандардне девијације импулса и координате прва два интерференциона максимума са обе стране централног максимума, као што је приказано релацијом 30 [87,88].

$$\delta P * \delta X \gg \frac{h}{4\pi} \text{ (једначина 30)}$$

3.8.3. Корпускуларност (*corpuscularity*). Вредност овог параметра мерила се се на вредностима првог максимума према претходно представљеним релацијама 11 и 12:

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} C_{12}(d)$$

$$V^2 + D^2 \leq 1$$

3.8.4. Видљивост (*visibility*). Параметар комплементар претходном параметру корпускуларности, па је стога и добијен коришћењем претходно поменуте Енглерт Гринбергер Јасинове релације 11:

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

3.8.5. Степен квантне повезаности (*entanglement*). Овај параметар одређује се путем следеће релације 31 [89].

$$E = -\frac{1+V}{2} \text{Log} \frac{1+V}{2} - \frac{1-V}{2} \text{Log} \frac{1-V}{2} \text{ (једначина 31)}$$

где је Е степен повезаности, а V контраст или видљивост. Степен квантне повезаности није само мера заплетености два фотона (квантни куплунг) који учествују у дифракцији, већ је и рефлексја повезаности физичког и физиолошког система на основу квантног ланца и Белових (енг. *John S. Bell*) неједнакости.

3.8.6. А/В количник (*A/B ratio*). Овај параметар представља количник интензитета електричног поља на свакој од две пукотине *double-slit* дифракционе решетке. Да би се дошло до његове вредности неопходно је фитовати базичну релацију за *double-slit* дифракцију користећи параметре из физичке поставке експеримента.

$$I = A^2 \left(\frac{a \sin \beta_1}{r_1 \beta_1} \right)^2 + B^2 \left(\frac{a \sin \beta_2}{r_1 \beta_1} \right)^2 + 2AB \frac{a^2 \sin \beta_1 \sin \beta_2}{r_1 r_2 \beta_1 \beta_2} \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) \right) + I_{DC} \text{ (једначина 32)}$$

$$\beta_1 = \frac{\pi a x_1}{\lambda \sqrt{D^2 + x_1^2}}; \beta_2 = \frac{\pi a x_2}{\lambda \sqrt{D^2 + x_2^2}} \text{ (једначина 33)}$$

$$x_1 = x - \frac{1}{2}(a + d); x_2 = x + \frac{1}{2}(a + d) \text{ (једначина 34)}$$

x је позиција централног максимума, a је ширина пукотине, d је растојање између пукотина, r_1 and r_2 кореспондирају са експресијом у квадратном корену једначине 33, λ је таласна дужина ласерске светлости, L је растојање између дифракционе решетке и екрана камере, I_{DC} је интензитет позадинског светла.

Параметри коришћени за фитовање релације 32 износе: $a=100 \mu\text{m}$, $d=500 \mu\text{m}$, $L=25 \text{ cm}$, $\lambda=635 \text{ nm}$ и представљају параметре на основу којих је био постављен физички систем током извођења експеримента.

3.8.7. Амплитуда пика (*peak amplitude*). Мери се директно путем линеарне *ccd* камере, а за његову вредност узима се магнитуда првог пика.

3.8.8. Удаљеност пика (*peak position*). Рачуна се као удаљеност првог пика од централног максимума интерференционе криве добијене линеарном *ccd* камером, тако што се пиксели преведу на милиметарску скалу.

3.8.9. Бомова фазна разлика. Померај фазе рачуна се путем релације за електрични Бомов ефекат.

$$\Delta\phi = \frac{qVt}{\hbar} \text{ (једначина 35)}$$

$\Delta\phi$ је фазни померај првог интерференционог максимума, q је наелектрисање електрона, V је вредност когнитивног потенцијала ПЗ00, t је време проласка кроз дифракциону решетку, \hbar је редукована Планкова константа ($\hbar/2\pi$).

3.9. Независне варијабле

3.9.1. Средња вредност амплитуде ЕЕГ сигнала. Овај параметар изражен је у микроволтима (μV) и мерен је у групи са субјектима у стању фокусиране и релаксиране пажње у деветнаест деривација.

3.9.2. Индекс ЕЕГ ритма. Овај параметар мерен је за β_1 талас (12-16 Hz), β_2 талас (16-20 Hz), α ритам (8-12 Hz), θ ритам (4-7 Hz) и δ талас (0.1-3 Hz) у групи са концентрисаном и релаксираном пажњом у деветнаест деривација.

3.9.3. Просечна спектрална снага и коефицијент аутокорељације. Вредност спектралне снаге параметра мери се у μV^2 , док је коефицијент аутокорељације бездимензионална варијабла. Оба параметра одређени су за деветнаест деривација ЕЕГ сигнала.

3.9.4. Укрштена корелација ЕЕГ сигнала. Овим параметром мери се корелација између симетричних деривационих одвода: *FP1-FP2, F3-F4, C3-C4, P3-P4, O1-O2, F7-F8, T3-T4, T5-T6*.

3.9.5. Корелациона димензија 2 (CD2), Лијапунов експонент (*Lyapunov exponent*), Ентропија (*Entropy*). Ови параметри израчунати су за прве четири секунде ЕЕГ сигнала у *FP1, FP2, F3* и *F4* деривацији у групи са субјектима у стању концентрисане или релаксиране пажње, док су у групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала одређени за прва четири значајна аудитивна стимулуса. У прозаичном смислу ове варијабле представљају нелинеарне параметре свесне пажње. Корелациона димензија 2 је одређена након формирања хипердимензионалне сфере адекватне димензије (*embedding dimension*) и радијуса, након чега су урађени фрактални прорачуни за различите вредности радијуса унутар ове сфере и затим представљени као логаритам фракталних вредности према вредностима логаритма радијуса. Корелациона димензија је затим одређена као нагиб криве и захтевала је присуство платоа на криви ради коректне калкулације. Лијапунов експонент је мера дивергирања трајекторија фазног простора и хаотично понашање у систему захтева позитивне вредности Лијапуновог експонента.

Ентропија је мера неуређености система и представља суму позитивних Лијапунових експонената.

3.9.6. Когнитивни потенцијал П300. Овај потенцијал се изражава у микроволтима и служи за квантификацију свесне пажње током *oddball* процедуре и регистрације интерференционих образаца у три подгрупе Е100, Е300 и Е1000.

IV

Резултати истраживања

4.1. Резултати физиолошког дела експеримента

Вредности амплитуде ЕЕГ сигнала регистровани током стања релаксиране и фокусиране пажње, односно у две експерименталне групе од 26 учесника у студији. У табелама 3а, 3б и 3в приказане су просечне вредности амплитуде код 26 учесника експеримента у појединим деривацијама у концентрисаној и релакс групи као и кореспондирајуће вредности статистичке значајности Фридмановог теста. Може се уочити статистички сигнификантно опадање амплитуде α , δ и θ ритма у већини деривација уз истовремени пораст амплите β_1 и β_2 ритма у групи са фокусираном пажњом у односу на групу са релаксираном пажњом. У појединим деривацијама регистровано је и парадоксално повећање амплитуде δ ритма код субјеката у стању концентрисане пажње.

На графику 1 приказане су процентуалне вредности промене амплитуда појединих ЕЕГ таласа код 26 учесника у стању концентрисане пажње у односу на групу истих учесника у стању релаксиране пажње. Уочава се пораст амплитуде β_1 ритма у групи са фокусираном пажњом за 5,93 % и β_2 ритма за вредност 27,65 %. Конкомитанто овим променама, амплитуда α ритма опала је за вредност 20,79 %, θ ритма за 20,49 %, док је пад амплитуде δ ритма износио 8,64 %.

На графику 2 приказане су промене индекса ритма код субјеката у стању концентрисане пажње у односу на исте субјекте у стању релаксиране пажње. Може се видети пораст β_1 ритма за 11,6 % и β_2 ритма за 15,8%, као и редукација δ ритма за вредност 21,6% и α ритма у вредности од 4%.

У табели 4 приказане су средње вредности просечне снаге ЕЕГ ритмова изражене у μV^2 , у деветнаест деривација код 26 учесника у експерименту, као и одговарајуће p вредности Фридмановог непараметарског теста за поновљена мерења, тј. мерено је у десет сесија односно у 10 независних студија. У већини деривација измерен је статистички сигнификантан пад снаге у групи са субјектима у стању концентрисане пажње наспрам учесника у стању релаксиране пажње, осим у $O1$ и $O2$ где је снага значајно повећана.

Коефицијент аутокорејације ЕЕГ сигнала измерен је такође у деветнаест деривација у две поредбене експерименталне групе, што је приказано у табели 5.

Измерен је статистички сигнификантан пад аутокорејације ($p < 0.001$) у свим деривацијама у концентрисаној групи, осим у $F8$ ($p = 0.362$) и $F7$ где је значајно повећан.

У табели 6 приказане су вредности коефицијента укрштене корелације, као и одговарајуће вредности статистичке значајности поређењем групе субјеката у стању концентрисане пажње и групе са субјектима у стању релаксиране пажње. Статистички сигнификантан пад укрштене корелације у групи са концентрисаном пажњом субјеката примећен је у *FP1-FP2*, *F3-F4*, *P3-P4*, а несигнификантан у *O1-O2*, док је сигнификантан пораст регистрован у *C3-C4*, *F7-F8*, *T3-T4*, а несигнификантан пораст забележен је у симетричним деривацијама *T5-T6*.

Вредности детерминистичког хаоса приказане су у табели 7. Ентропија је била значајно повећана у концентрисаној групи у односу на релакс групу у *FP1* ($0,40 \pm 0,05$ vs. $0,37 \pm 0,05$, $p < 0,05$), *FP2* ($0,42 \pm 0,05$ vs. $0,36 \pm 0,04$, $p < 0,01$) и *F4* деривацији ($0,43 \pm 0,04$ vs. $0,37 \pm 0,03$, $p < 0,01$), док је несигнификантни инкремент примећен у *F3* деривацији. У групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала, ентропија је била увећана у свим деривацијама, али је значајна разлика примећена у *FP2* ($0,41 \pm 0,06$ vs. $0,36 \pm 0,04$, $p < 0,01$) и *F4* деривацији ($0,40 \pm 0,04$ vs. $0,37 \pm 0,03$, $p < 0,01$). Корелациона димензија 2 била је сигнификантно увећана у свим деривацијама у групи са концентрисаном пажњом у односу на групу са релаксираном пажњом.

У исто време, Лијапунов експонент био је значајно увећан у *F4* деривацији ($0,35 \pm 0,05$ vs. $0,32 \pm 0,04$, $p < 0,05$) а несигнификантно у *FP1*, *FP2* и *F3* деривацији групе са концентрисаном пажњом, што је уз његове позитивне вредности индикатор хаотичног понашања. У групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала корелациона димензија 2 била је значајно увећана у *FP2* ($2,72 \pm 0,17$ vs. $2,63 \pm 0,16$, $p < 0,05$) и *F4* деривацији ($2,75 \pm 0,12$ vs. $2,69 \pm 0,09$, $p < 0,05$), супротно у односу на *F3* деривацију где је била несигнификантно увећана и *FP1* деривацију где је била несигнификантно умањена.

Лијапунов експонент био је несигнификантно увећан у *FP2* и *F4* деривацији, са изузетком *F3* деривације, где је уочен несигнификантни декремент у групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала.

Вредности латенце когнитивног евоцираног потенцијала П300 као и вредности његове амплитуде приказане су у табели 8.

Периодограми појединих ЕЕГ таласа у релакс и фокусираној групи приказани су на графицима 3 и 4. Може се уочити процентуални пораст $\beta 2$ таласа, уз конкомитантно процентуално смањење споријих ритмова. Такође, на слици 10 приказани су когнитивни евоцирани потенцијали 26 учесника током свих десет студија добијени сумирањем, односно спајањем ЕЕГ епоха и издвајањем компоненти

когнитивног евоцираног потенцијала-N1, ПЗ (ПЗ00а) и ПЗ00 (ПЗ00б), док је на слици 11 приказано мапирање ових потенцијала. Највећу активност (подручја са црвеном бојом) специфичне компоненте N1 комплекса евоцираног потенцијала имају фронталне и паријеталне регије, док неспецифични део одговора представљен таласима ПЗ и ПЗ00 највеће потенцијале има паријетално и окципитално.

ЕЕГ деривације								ЕЕГ ритам у експ. групама
<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>	<i>F4</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>O1</i>	<i>O2</i>	
7,00±1,27	7,59±1,71	6,46±1,56	6,80±1,63	7,04±1,48	6,65±0,96	10,09±1,46	10,28±1,30	α релакс.
6,59±1,45	7,06±1,35	5,74±1,53	5,55±1,32	5,23±1,27	5,47±1,39	7,57±1,73	6,31±1,49	α конц.
0,006	0,027	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<i>p</i>
4,03±0,86	4,79±1,23	3,37±0,95	4,02±1,27	3,96±1,14	3,56±0,88	5,47±0,96	4,79±1,11	β1 релакс.
4,41±0,67	5,73±1,36	4,12±1,13	4,60±1,11	3,55±0,82	4,13±0,87	5,44±1,21	5,26±0,74	β1 конц.
0,004	0,002	0,000	0,017	0,004	0,002	0,775	0,006	<i>p</i>
4,05±0,65	4,70±0,91	3,13±0,69	3,36±0,67	3,63±0,66	3,54±0,50	6,68±1,05	6,21±0,86	β2 релакс.
5,50±1,24	9,06±3,72	4,37±1,16	5,60±1,15	3,91±0,73	5,30±1,08	6,40±1,39	5,92±1,55	β2 конц.
<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,015	<0,001	0,057	0,108	<i>p</i>
9,20±5,24	12,46±3,93	4,18±2,89	4,57±2,16	5,41±2,56	9,96±5,27	7,35±6,53	7,98±4,29	δ релакс.
10,12±3,64	11,80±3,59	2,96±2,12	3,20±0,95	8,06±2,82	9,45±5,89	4,88±4,06	6,37±2,01	δ конц.
0,184	0,325	0,002	0,011	<0,001	0,309	<0,001	0,025	<i>p</i>
6,65±2,61	7,91±2,35	5,15±2,07	5,31±1,88	4,95±1,64	6,51±2,73	6,46±2,48	5,75±2,21	θ релакс.
6,44±1,71	7,39±1,38	4,53±1,18	4,62±0,92	4,36±0,99	5,86±2,22	5,81±1,38	4,82±1,05	θ конц.
0,936	0,246	0,133	0,053	0,234	0,090	0,161	0,042	<i>p</i>

Табела 3а. Вредности апмлитуда одговарајућих ЕЕГ ритмова у осам деривација две експерименталне групе са кореспондирајућим *p* вредностима статистичке значајности.

ЕЕГ деривације							ЕЕГ ритам у експ. групама
<i>Pz</i>	<i>F7</i>	<i>F8</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	
7,20±1,28	7,07±1,75	6,94±1,07	6,13±1,49	6,25±1,19	7,41±1,61	6,92±1,11	α релакс.
5,87±1,39	5,68±1,22	6,39±1,42	5,57±1,44	6,00±1,33	5,75±1,43	6,14±1,22	α конц.
<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<i>p</i>
3,28±0,79	3,74±1,01	4,14±0,77	3,35±0,87	4,20±1,59	4,68±1,23	3,62±1,03	β1 релакс.
3,59±1,00	4,03±1,01	4,71±0,73	3,78±0,71	4,57±0,83	4,54±1,03	4,01±0,78	β1 конц.
0,135	0,090	<0,001	0,247	0,734	<0,001	0,019	<i>p</i>
3,20±0,67	3,94±0,78	4,07±0,66	3,00±0,64	4,03±1,19	4,18±0,80	3,52±0,85	β2 релакс.
3,81±0,88	5,55±1,26	6,25±1,46	4,29±0,99	7,21±1,78	5,22±1,06	5,79±1,52	β2 конц.
<0,001	<0,001	<0,001	0,065	<0,001	<0,001	<0,001	<i>p</i>
4,93±2,69	19,00±9,51	9,75±4,44	9,62±4,94	11,20±5,71	5,12±2,06	6,88±4,91	δ релакс.
5,56±5,52	14,19±5,16	8,64±3,64	7,49±2,79	9,52±4,61	5,72±2,00	8,92±4,40	δ конц.
0,350	0,006	0,026	0,001	<0,001	0,496	0,013	<i>p</i>
5,62±2,07	9,88±3,54	7,02±2,29	6,88±2,83	7,64±2,86	5,38±1,78	6,83±2,50	θ релакс.
4,92±1,24	9,08±3,16	5,46±1,40	4,78±1,54	5,58±1,27	4,69±1,07	5,20±1,43	θ конц.
0,064	0,028	<0,001	<0,001	0,328	<0,001	<0,001	<i>p</i>

Табела 36. Вредности апмлитуда одговарајућих ЕЕГ ритмова у осам деривација две експерименталне групе са кореспондирајућим *p* вредностима статистичке значајности.

ЕЕГ деривације				ЕЕГ ритам у експ. групама
<i>Fz</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>Cz</i>	
5,66±1,05	5,67±1,50	6,06±1,30	7,04±1,48	α релакс.
5,49±1,24	4,86±1,45	4,27±1,29	5,23±1,27	α конц.
<0,001	0,247	<0,001	<0,001	<i>p</i>
3,30±1,11	3,21±1,08	3,03±0,75	3,96±1,14	β1 релакс.
2,74±0,47	4,32±1,10	2,54±0,50	3,55±0,82	β1 конц.
0,722	0,003	<0,001	<0,001	<i>p</i>
2,69±0,62	2,82±0,95	2,32±0,65	3,63±0,66	β2 релакс.
3,72±0,87	5,30±1,36	2,83±0,76	3,91±0,73	β2 конц.
<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<i>p</i>
9,24±5,65	2,43±1,20	8,99±5,41	5,41±2,56	δ релакс.
10,50±5,58	1,58±0,61	7,35±4,81	8,06±2,82	δ конц.
0,237	0,131	<0,001	0,011	<i>p</i>
6,02±1,96	6,90±2,71	4,47±1,65	6,42±2,98	θ релакс.
5,13±1,16	4,97±1,53	3,62±1,09	3,80±1,38	θ конц.
<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<i>p</i>

Табела 3в. Вредности апмлитуда одговарајућих ЕЕГ ритмова у четири деривације две експерименталне групе са кореспондирајућим *p* вредностима статистичке значајности.

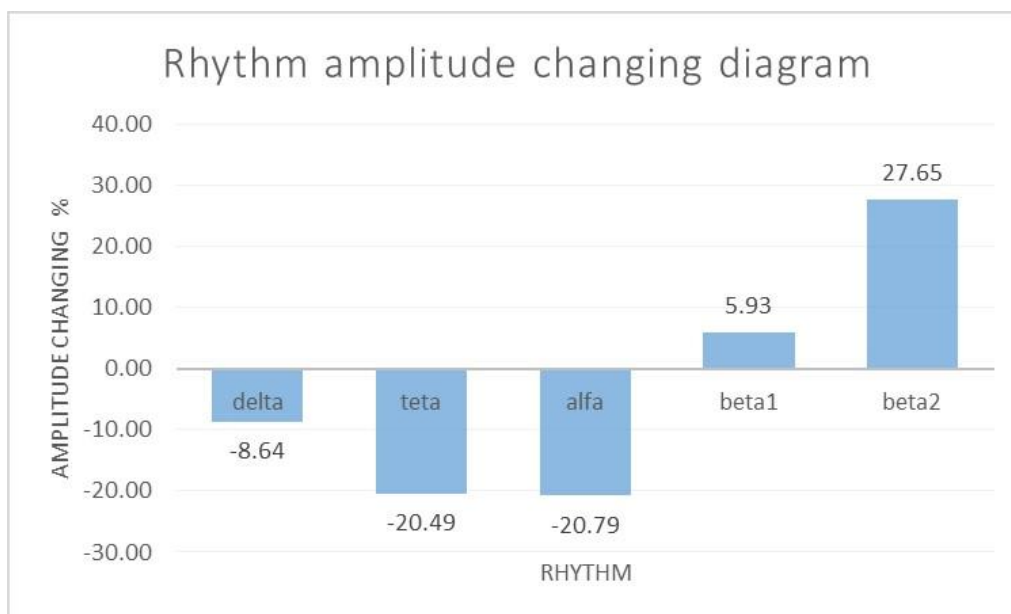


График 1. Вредности промене амплитуде изражене у процентима појединих ЕЕГ ритмова у групи са концентрисаном пажњом у односу на релакс групу.

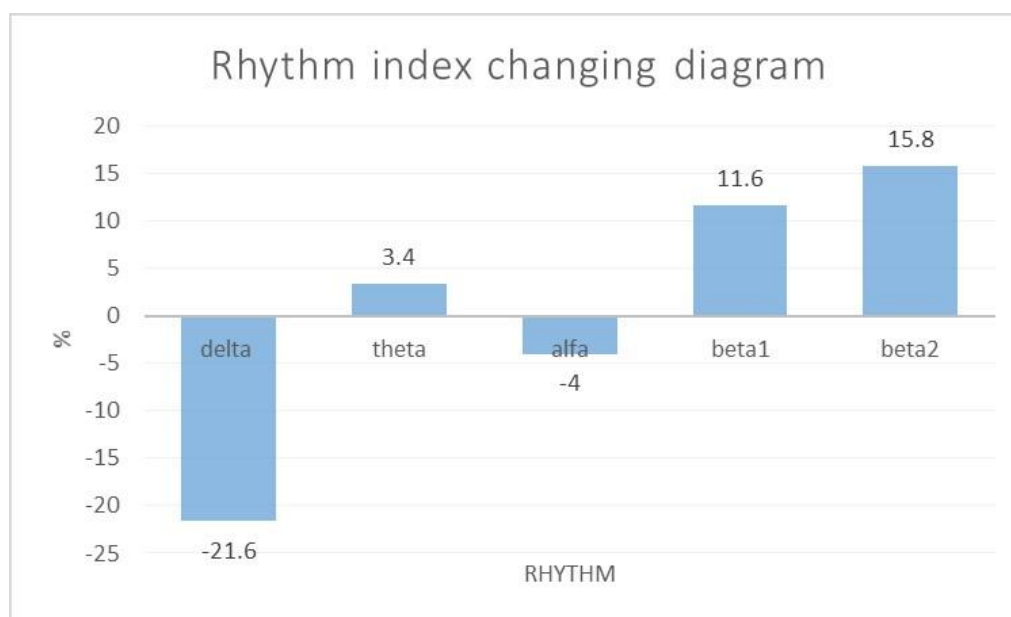


График 2. Дијаграм показује промене ритма у процентима компарацијом групе субјеката у стању концентрисане пажње у односу на групу субјеката са релаксираном пажњом.

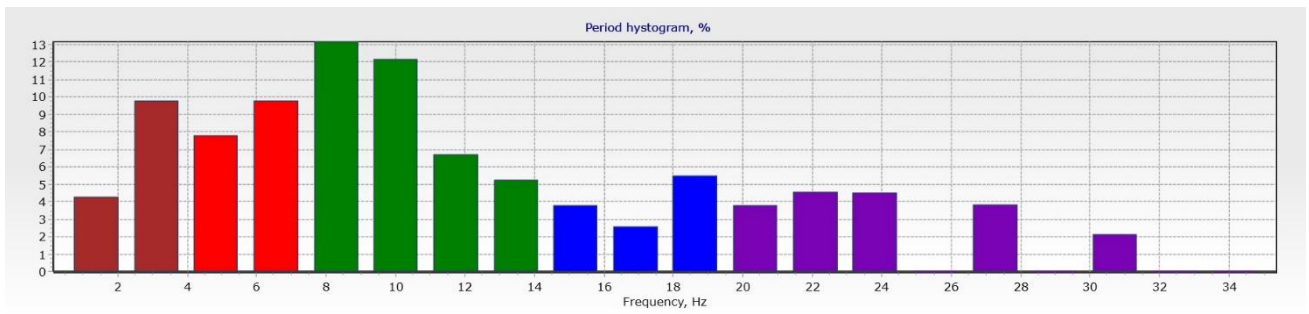


График 3. Периодограм појединих ЕЕГ таласа у релакс групи.

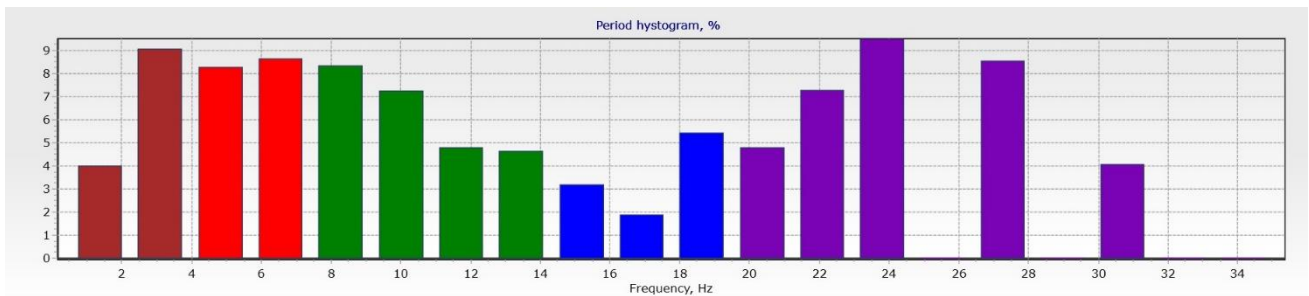


График 4. Периодограм у групи субјеката у стању фокусиране пажње.

ЕЕГ деривације	Релакс група	Конц.група	<i>p</i>
FP1	7,42±3,20	5,05±2,08	<0,01
FP2	7,17±2,69	4,69±1,91	<0,01
F3	6,64±2,82	4,76±2,06	0,02
F4	7,58±3,33	5,08±2,59	<0,01
FZ	7,45±3,05	4,36±2,31	<0,01
C3	14,13±6,60	7,36±3,35	<0,01
C4	13,69±10,23	7,31±3,39	<0,01
CZ	20,80±10,50	8,61±3,98	<0,01
P3	10,65±4,57	5,71±2,03	<0,01
P4	8,35±3,78	8,11±3,03	0,927
PZ	6,55±2,85	9,16±2,90	<0,01
O1	5,63±2,76	6,99±2,30	<0,01
O2	4,93±1,93	5,40±1,52	0,049
F7	6,79±3,85	5,99±1,80	0,387
F8	6,33±2,62	5,67±1,67	0,194
T3	6,34±2,61	5,86±1,76	0,616
T4	8,68±2,99	7,11±2,38	<0,01
T5	8,73±4,38	8,85±3,56	0,439
T6	9,99±3,10	9,97±3,36	0,873

Табела 4. Просечна снага ЕЕГ сигнала (изражена у μV^2) измерена у деветнаест деривација две експерименталне групе са одговарајућим вредностима статистичке значајности Фридмановог теста.

ЕЕГ деривације	Релакс група	Конц. група	<i>p</i>
FP1	0,19±0,04	0,13±0,03	<0,01
FP2	0,23±0,04	0,11±0,03	<0,01
F3	0,16±0,03	0,12±0,03	<0,01
F4	0,18±0,03	0,10±0,03	<0,01
FZ	0,16±0,03	0,09±0,02	<0,01
C3	0,15±0,02	0,11±0,03	<0,01
C4	0,15±0,04	0,08±0,02	<0,01
CZ	0,14±0,02	0,07±0,01	<0,01
P3	0,18±0,03	0,10±0,02	<0,01
P4	0,19±0,04	0,08±0,02	<0,01
PZ	0,20±0,03	0,09±0,02	<0,01
O1	0,17±0,03	0,08±0,02	<0,01
O2	0,18±0,03	0,08±0,02	<0,01
F7	0,14±0,01	0,15±0,02	0,021
F8	0,14±0,02	0,13±0,03	0,362
T3	0,15±0,02	0,13±0,02	0,038
T4	0,13±0,03	0,09±0,02	0,01
T5	0,16±0,03	0,09±0,02	<0,01
T6	0,18±0,03	0,10±0,02	<0,01

Табела 5. Поређење вредности коефицијента аутокорејације ЕЕГ сигнала у деветнаест деривација између субјеката у стању фокусиране пажње и субјеката у стању релаксиране пажње.

ЕЕГ деривације	Релакс група	Конц. група	<i>p</i>
FP1-FP2	0,30±0,05	0,22±0,04	<0,01
F3-F4	0,22±0,04	0,16±0,03	<0,01
C3-C4	0,09±0,02	0,12±0,03	<0,01
P3-P4	0,27±0,05	0,24±0,05	0,011
O1-O2	0,39±0,04	0,38±0,04	0,820
F7-F8	0,11±0,01	0,21±0,05	<0,01
T3-T4	0,14±0,02	0,18±0,04	<0,01
T5-T6	0,14±0,04	0,15±0,02	0,524

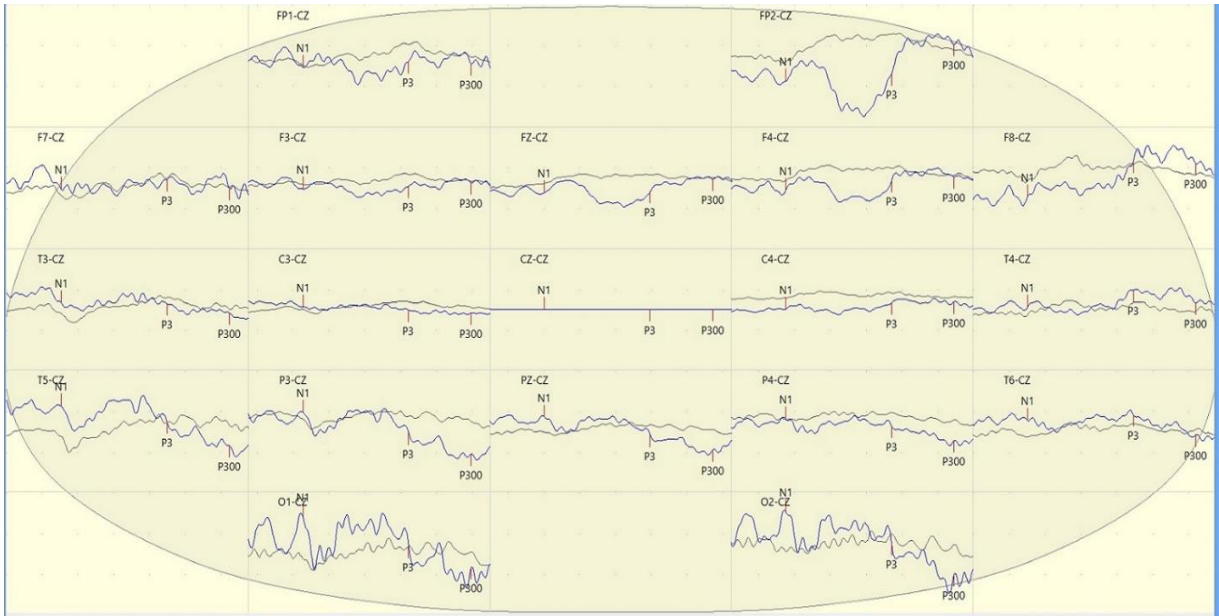
Табела 6. Вредности унакрсне (укрштене) корелације и одговарајућа статистичка значајност између појединих ЕЕГ деривација.

Деривације	Групе	Параметри		
		<i>CD2</i>	<i>Entropy</i>	<i>Lyapunov exponent</i>
<i>FP1</i>	релакс.	2,68±0,27	0,37±0,05	0,29±0,08
	конц.	2,72±0,11 ^a	0,40±0,05 ^a	0,31±0,07 ^{ns}
	евоцирани	2,66±0,22 ^{ns}	0,39±0,04 ^{ns}	0,29±0,05 ^{ns}
<i>FP2</i>	релакс.	2,63±0,16	0,36±0,04	0,28±0,07
	конц.	2,78±0,11 ^b	0,42±0,05 ^b	0,31±0,08 ^{ns}
	евоцирани	2,72±0,17 ^a	0,41±0,06 ^b	0,30±0,07 ^{ns}
<i>F3</i>	релакс.	2,68±0,09	0,38±0,03	0,33±0,05
	конц.	2,74±0,08 ^a	0,40±0,04 ^{ns}	0,34±0,06 ^{ns}
	евоцирани	2,73±0,14 ^{ns}	0,39±0,03 ^{ns}	0,32±0,04 ^{ns}
<i>F4</i>	релакс.	2,69±0,09	0,37±0,03	0,32±0,04
	конц.	2,78±0,07 ^b	0,43±0,04 ^b	0,35±0,05 ^a
	евоцирани	2,75±0,12 ^a	0,40±0,04 ^b	0,33±0,05 ^{ns}

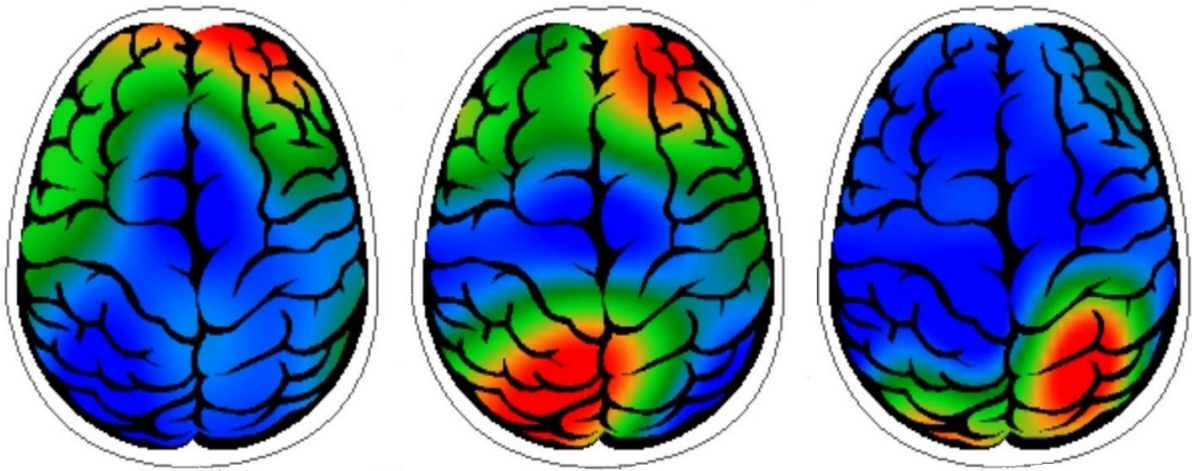
Табела 7. Параметри детерминистичког хаоса одређени за четири деривације у три експерименталне групе. Статистичка значајност: ^ap<0,05, ^bp<0,01, ^{ns} несигнификантно.

П300 латенција (ms)	П300 потенцијал (μV)	ЕЕГ Деривације
310,86±29,01	1,95±1,46	FP1
310,86±29,01	3,57±3,33	FP2
310,74±29,41	0,98±0,63	F3
310,64±29,31	1,53±1,05	F4
310,19±29,24	1,06±0,90	FZ
310,36±29,23	0,61±0,45	C3
310,24±29,35	1,09±0,68	C4
310,14±29,25	0,25±0,11	CZ
310,31±29,35	1,44±1,20	P3
310,49±28,84	1,49±1,08	P4
310,54±29,03	1,24±0,94	PZ
310,89±28,94	3,68±2,58	O2
310,58±29,08	1,48±1,03	F7
310,30±29,06	2,11±1,42	F8
311,14±28,76	1,17±0,88	T3
311,07±28,82	1,72±1,06	T4
310,48±28,68	1,99±1,68	T5
311,61±28,04	1,88±1,42	T6
312,03±27,59	3,44±2,24	O1

Табела 8. Латенца у милисекундама и амплитуда у микроволтима когнитивног евоцираног потенцијала П300 у 19 ЕЕГ деривација.



Слика 10. Когнитивни евоцирани потенцијал П300 добијен сумирањем ЕЕГ епоха током десет сесија експеримента.



Слика 11. Мапирање компоненти Н1, П3 и П300 когнитивног евоцираног потенцијала сумирањем ЕЕГ епоха 26 учесника током свих 10 сесија у експерименту.

4.2. Резултати физичког дела експеримента

Дифракциони обрасци снимани су у свакој групи физичке поставке експеримента током 45 секунди тако да је укупан број снимака 1170. На графику 5 приказан је дифракциони образац снимљен током калибрације физичког дела система линеарном *ccd* камером *Caliens POD010020*. Усредњавањем вредности амплитуде, односно применом *averaging* (енг. *averaging* - усредњавање) методе на подацима добијеним током снимања у контролној групи, на графику 6 приказан је типичан график интерференционих максимума и минимума у *double-slit* експерименту. На приказаним графицима може се уочити централни максимум и симетрично распоређени остали максимуми и минимуми.

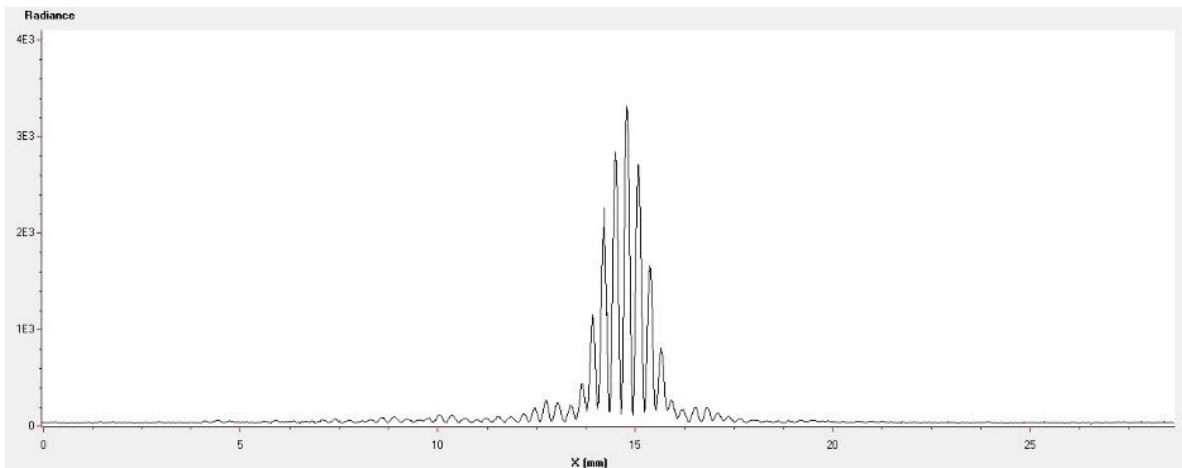


График 5. Дифракциони образац у *double-slit* експерименту добијен коришћењем *Caliens POD010020* линеарне *ccd* камере током процеса калибрације физичког дела система експеримента. X оса представља удаљеност у милиметрима, док је на Y оси представљена радијанса.

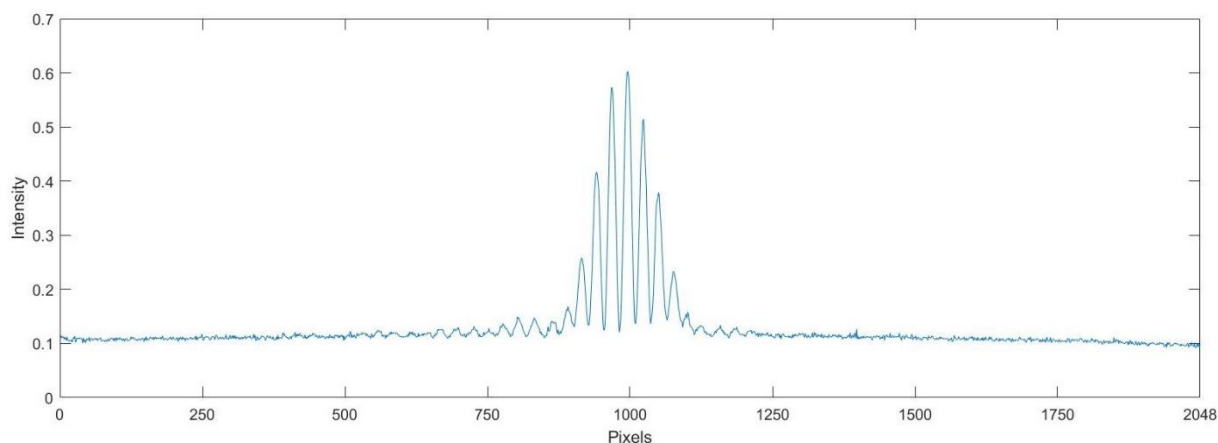


График 6. Интерференционна крива у *double-slit* експерименту, добијена *averaging* методом на сету података регистрованим у контролној групи.

Вредности зависних варијабли израчунате применом претходно описаних релација (једначине 28-32) приказане су у табели број 9а и 9б. Такође, у истој табели приказана је статистичка сигнификантност на основу поређења података контролне и осталих експерименталних група. Због обављених 10 независних студије и примењене мета анализе у статистичкој обради података вредности *effect size* приказане су у табели 10. Мора се нагласити да су вредности стандардне грешке за *effect size* (скр.*es*) увек исте и износе 0,32, што је реципрочна вредност квадратног корена броја студија, односно обављених независних сесија испитивања. На графицима 7-10 приказане су вредности појединих параметара физичког дела система приказаних у табелама 9а и 9б.

У односу на контролну групу корпускуларност се сигнификантно повећала у групи са концентрисаном пажњом ($0,308 \pm 0,054$ vs. $0,293 \pm 0,045$, *es.* $-0,80 \pm 0,32$, $p=0,01$), док се у групи са релаксираном пажњом корпускуларност такође повећала али није достигла ниво статистичке значајности ($0,301 \pm 0,048$ vs. $0,293 \pm 0,045$, *es.* $-0,54 \pm 0,32$, $p=0,08$). У подгрупама где је извршена регистрација когнитивног евоцираног потенцијала П300, корпускуларност се такође сигнификантно увећавала. У подгрупи Е100: $0,301 \pm 0,048$ vs. $0,293 \pm 0,045$, *es.* $-0,66 \pm 0,32$, $p=0,03$, у подгрупи Е300: $0,306 \pm 0,049$ vs. $0,293 \pm 0,045$, *es.* $-0,88 \pm 0,32$, $p < 0,01$, док је у подгрупи Е1000 ово повећање износило: $0,315 \pm 0,045$ vs. $0,293 \pm 0,045$, *es.* $-0,97 \pm 0,32$, $p < 0,01$.

Квантна повезаност се са изузетком групе субјеката у стању релаксираних пажње, где је била смањена, статистички сигнификантно повећала у свим осталим експерименталним групама о односу на контролну групу. У групи са концентрисаном

пажњом то повећање је износило $0,116 \pm 0,031$ vs. $0,106 \pm 0,025$, *es.* $-0,83 \pm 0,32$, $p < 0,01$, у Е100 групи тај инкремент је износио: $0,112 \pm 0,025$ vs. $0,106 \pm 0,025$, *es.* $-0,64 \pm 0,32$, $p = 0,04$, у Е300 групи ситуација је следећа: $0,114 \pm 0,028$ vs. $0,106 \pm 0,025$, *es.* $-0,82 \pm 0,32$, $p < 0,01$, док су у подгрупи Е1000 одређени следећи параметри: $0,120 \pm 0,026$ vs. $0,106 \pm 0,025$, *es.* $-0,94 \pm 0,32$, $p < 0,01$.

Хајзенбергова неодређеност (*uncertainty*) се са статистичком сигнификантношћу променила у свим групама, с'том разликом што је у релакс групи апсолутна вредност неодређености била већа у односу на вредности у контролној групи: $1,209 \pm 0,263$ vs. $1,165 \pm 0,244$, *es.* $-0,93 \pm 0,32$, $p < 0,01$. У групи са концентрисаном пажњом смањење неизвесности износило је: $1,122 \pm 0,267$ vs. $1,165 \pm 0,244$, *es.* $-0,96 \pm 0,32$, $p < 0,01$. Веома је значајно и смањење у подгрупи Е100: $1,143 \pm 0,260$ vs. $1,165 \pm 0,244$, *es.* $-0,90 \pm 0,32$, $p < 0,01$, као и у подгрупи Е300 и Е1000.

Интерференција је, као што је већ речено у поглављу 3.8, одређена на основу вредности другог пика графика спектралне густине снаге интерференције. На графику 11 приказан је график спектралне снаге интерференције у контролној групи, на основу средњих вредности параметра интерференције за све субјекте током свих 10 сесија. Интерференција је у извршеном експерименту била смањена у свим групама, али само у групи субјеката са релаксираном пажњом није достигла статистичку значајност. Наиме, у групи са фокусираном пажњом: $20,51 \pm 0,116$ vs. $21,96 \pm 0,056$, *es.* $-0,90 \pm 0,32$, $p < 0,01$, у групи са релаксираном пажњом вредности су биле: $21,63 \pm 0,218$ vs. $21,96 \pm 0,056$, *es.* $-0,57 \pm 0,32$, $p = 0,07$, док је смањење интерференције у подгрупама са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала П300 износила таксативно- Е100: $21,20 \pm 0,443$ vs. $21,96 \pm 0,056$, *es.* $-0,72 \pm 0,32$, $p = 0,02$, Е300: $20,53 \pm 0,393$ vs. $21,96 \pm 0,056$, *es.* $-0,86 \pm 0,32$, $p < 0,01$, Е1000: $20,53 \pm 0,270$ vs. $21,96 \pm 0,056$, *es.* $-0,89 \pm 0,32$, $p < 0,01$.

А/Б количник значајно се смањио у свим експерименталним групама, али поново сигнификантност није достигао само у групи субјеката релаксираних пажње: $0,857 \pm 0,013$ vs. $0,893 \pm 0,001$, *es.* $-0,61 \pm 0,32$, $p = 0,051$.

У групи субјеката у стању концентрисане пажње примећен је сигнификантан пад количника електричног поља: $0,831 \pm 0,009$ vs. $0,893 \pm 0,001$, *es.* $-0,90 \pm 0,32$, $p < 0,01$. У Е100 подгрупи такође је детектован статистички значајан пад количника и ситуација је следећа: $0,839 \pm 0,018$ vs. $0,893 \pm 0,001$, *es.* $-0,62 \pm 0,32$, $p = 0,04$. И у преостале две групе количник је био значајно смањен, па су за Е300 групу нађене следеће вредности: $0,840 \pm 0,018$ vs. $0,893 \pm 0,001$, *es.* $-0,70 \pm 0,32$, $p = 0,025$, а за Е1000 групу: $0,837 \pm 0,013$ vs. $0,893 \pm 0,001$, *es.* $-0,75 \pm 0,32$, $p = 0,017$. Наведени резултати за А/Б количник приказани су

у табели 9б и табели 10, као и на графицима 9 и 10, а Z скор на посебним графицима 12-16.

Интензитет, односно амплитуда првог пика је параметар директно мерен путем линеарне *ccd* камере и био је значајно промењен у експерименталним у односу на контролну групу. Тако је у концентрисаној групи примећен сигнификантан пораст $0,657 \pm 0,043$ vs. $0,575 \pm 0,006$, *es.* $-0,93$, $p < 0,01$, док је у осталим групама детектовани пад вредности био статистички сигнификантан са изузетком релакс групе. У исто време у E100 групи вредност интензитета је била: $0,557 \pm 0,107$ vs. $0,575 \pm 0,006$, *es.* $-0,72$, $p = 0,02$, у E300 групи: $0,516 \pm 0,106$ vs. $0,575 \pm 0,006$, *es.* $-0,76$, $p = 0,016$, и на крају у E1000 групи: $0,501 \pm 0,091$ vs. $0,575 \pm 0,006$, *es.* $-0,89$, $p < 0,01$.

Када је у питању позиција првог пика интерференционих пруга у односу на централни максимум у свим групама са изузетком E1000 групе забележен је сигнификантан пад вредности на милиметарској скали. Наиме у E1000 групи вредност се није променила у односу на контролну групу, па је износила: $0,292 \pm 0,0370$. vs. $0,292 \pm 0,053$, *es.* $-0,38$, $p = 0,22$. Чак је и у релакс групи детектована сигнификантна промена у позицији првог интерференционог пика, па је тако она била: $0,273 \pm 0,078$ vs. $0,292 \pm 0,053$, *es.* $-0,91$, $p < 0,01$. У интерактивном пољу групе субјеката са концентрисаном пажњом, такође је измерен сигнификантан пад ове варијабле: $0,289 \pm 0,059$ vs. $0,292 \pm 0,053$, *es.* $-0,90$, $p < 0,01$, док је у групама E100 и E300 измерена идентична вредност позиције пика, па је то према табели 10 сигнификантна промена у односу на вредности за контролну групу, конкретно-E100: $0,290 \pm 0,043$ vs. $0,292 \pm 0,053$, $p < 0,05$; E300: $0,290 \pm 0,044$ vs. $0,292 \pm 0,053$, $p < 0,05$.

Variables	Groups	Results
Visibility	Control	0,954±0,013
	Concentrated	0,949±0,016 ^a
	Relaxed	0,952±0,013 ^c
	E100	0,952±0,015 ^a
	E300	0,950±0,015 ^a
	E1000	0,947±0,014 ^b
Corpuscularity	Control	0,293±0,045
	Concentrated	0,308±0,054 ^a
	Relaxed	0,301±0,048 ^c
	E100	0,301±0,044 ^a
	E300	0,306±0,049 ^b
	E1000	0,315±0,045 ^b
Entanglement	Control	0,106±0,025
	Concentrated	0,116±0,031 ^b
	Relaxed	0,111±0,028 ^c
	E100	0,112±0,025 ^a
	E300	0,114±0,028 ^b
	E1000	0,120±0,026 ^b
Uncertainty (*h)	Control	1,165±0,244
	Concentrated	1,122±0,267 ^b
	Relaxed	1,209±0,263 ^b
	E100	1,143±0,260 ^b
	E300	1,133±0,261 ^a
	E1000	1,127±0,259 ^b

Табела 9а. Вредности четири зависних варијабли мерених у контролној и три експерименталне групе: група субјеката у стању концентрисане пажње, група релаксиране пажње, и три подгрупе у оквиру групе са регистрацијом когнитивног потенцијала. Статистичка сигнификантност приказана је као: ^ap<0,05, ^bp<0,01, ^c несигнификантно.

Parameters	Groups	Statistics
Interference (dB)	Control	21,96±0,056
	Concentrated	20,51±0,116 ^b
	Relaxed	21,63±0,218 ^c
	E100	21,20±0,443 ^a
	E300	20,53±0,393 ^b
	E1000	20,53±0,270 ^b
A/B ratio	Control	0,893±0,001
	Concentrated	0,831±0,009 ^b
	Relaxed	0,857±0,013 ^c
	E100	0,839±0,018 ^a
	E300	0,840±0,018 ^a
	E1000	0,837±0,013 ^a
Peak amplitude	Control	0,575±0,006
	Concentrated	0,657±0,043 ^b
	Relaxed	0,569±0,010 ^c
	E100	0,557±0,107 ^a
	E300	0,516±0,106 ^a
	E1000	0,501±0,091 ^b
Peak position (mm)	Control	0,292±0,053
	Concentrated	0,289±0,059 ^b
	Relaxed	0,273±0,078 ^b
	E100	0,290±0,043 ^a
	E300	0,290±0,044 ^a
	E1000	0,292±0,037 ^c

Табела 9б. Вредности четири зависних варијабли мерених у контролној и три експерименталне групе: група субјеката у стању концентрисане пажње, група релаксиране пажње, и три подгрупе у оквиру групе са регистрацијом когнитивног потенцијала. Статистичка сигнификантност приказана је као: ^a p<0,05, ^b p<0,01, ^c несигнификантно.

Parameters	Statistics	Groups				
		Relaxed	Concentrated	E100	E300	E1000
Corpuscularity	z score	-1,73	-2,55	-2,09	-2,79	-3,09
	effect size	-0,54	-0,80	-0,66	-0,88	-0,97
Visibility	z score	-1,55	-2,36	-2,27	-2,26	-2,85
	effect size	-0,49	-0,75	-0,71	-0,71	-0,90
Entanglement	z score	-1,87	-2,64	-2,03	-2,60	-2,99
	effect size	-0,59	-0,83	-0,64	-0,82	-0,94
Uncertainty	z score	-2,95	-3,05	-2,87	-2,49	-3,06
	effect size	-0,93	-0,96	-0,90	-0,78	-0,96
Interference	z score	-1,82	-2,84	-2,28	-2,71	-2,82
	effect size	-0,57	-0,90	-0,72	-0,86	-0,89
A/B ratio	z score	-1,95	-2,86	-1,97	-2,23	-2,37
	effect size	-0,61	-0,90	-0,62	-0,70	-0,75
Peak amplitude	z score	-1,92	-2,93	-2,27	-2,39	-2,82
	effect size	-0,60	-0,93	-0,72	-0,76	-0,89
Peak position	z score	-2,90	-2,85	-2,20	-2,29	-1,21
	effect size	-0,91	-0,90	-0,69	-0,72	-0,38

Табела 10. У табели су приказане вредности *Z* skora и *effect size* на основу статистичке компарације између експерименталне и контролне групе за вредности осам зависних варијабли.

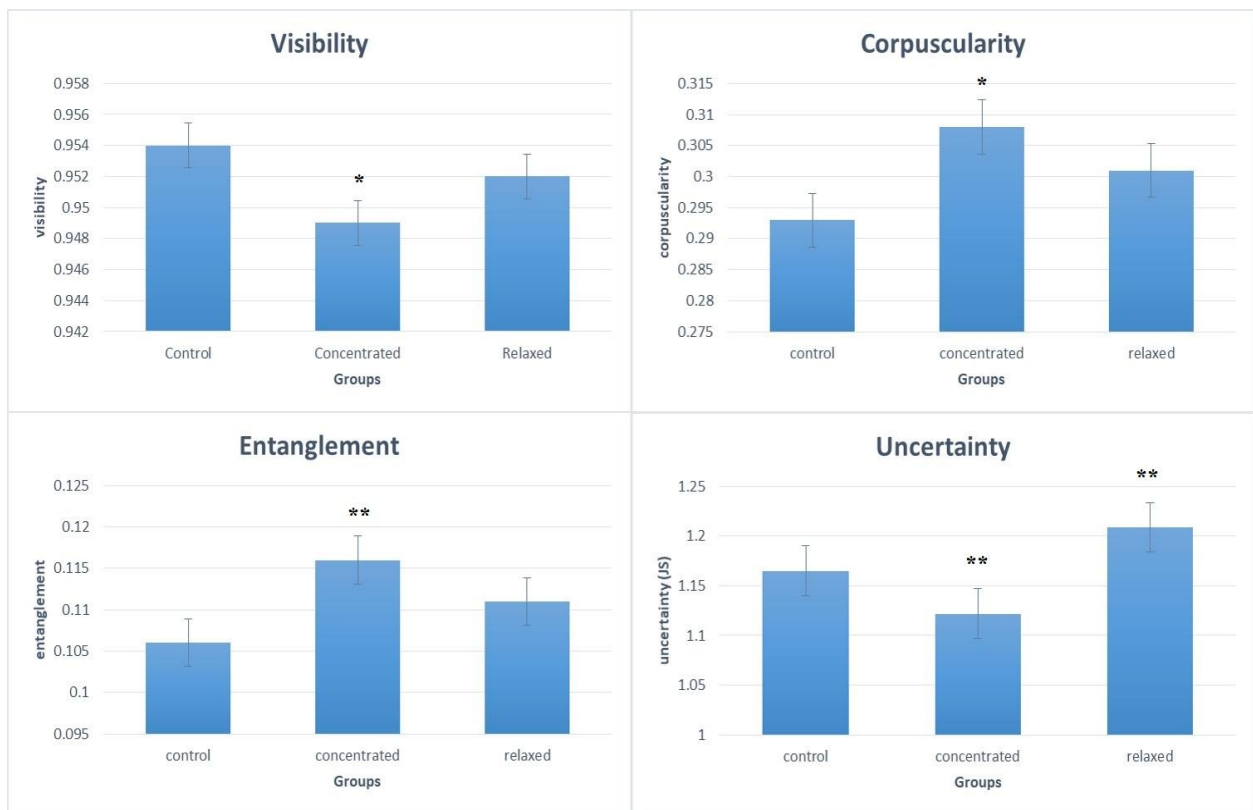


График 7. Вредности четири параметра за контролну и две експерименталне групе.

* означава ниво сигнификантности $<0,05$; ** сигнификантност $<0,01$.

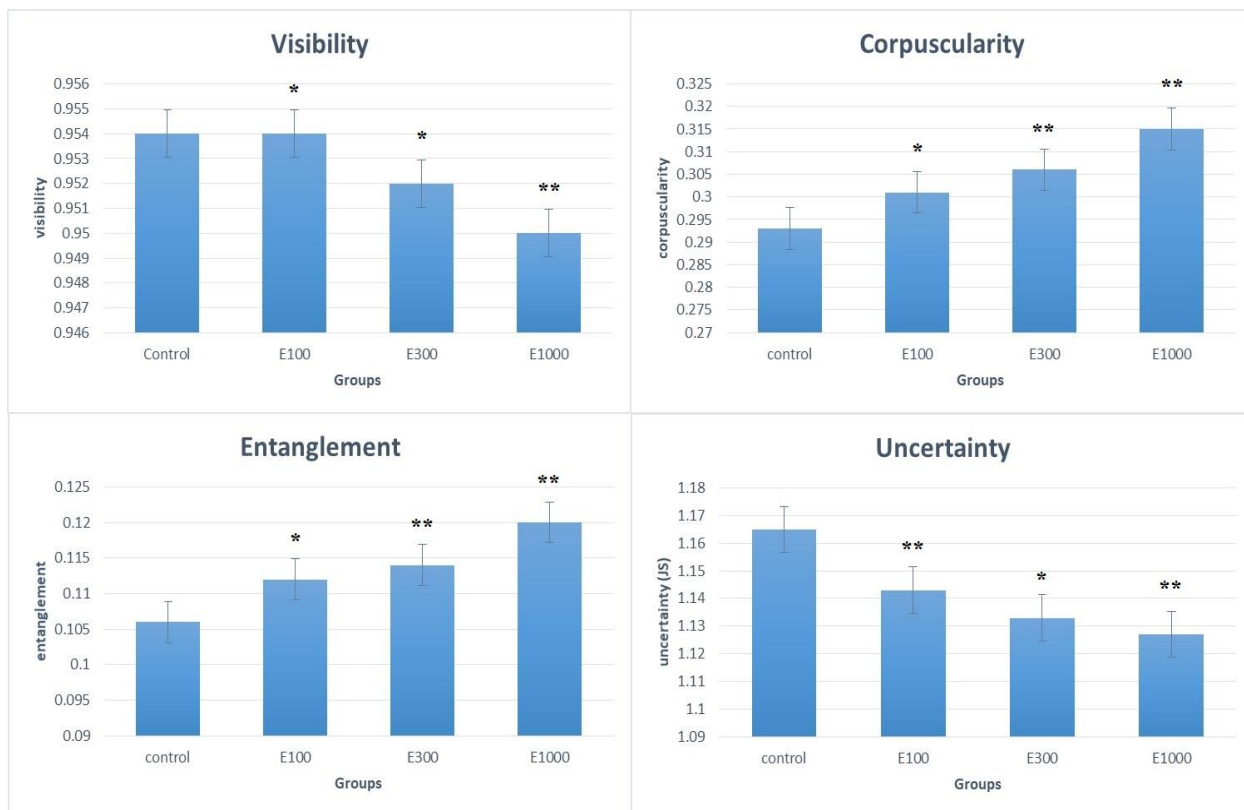


График 8. Вредности четири параметра за контролну и три експерименталне групе.

* означава ниво сигнификантности <math><0,05</math>; ** сигнификантност <math><0,01</math>.

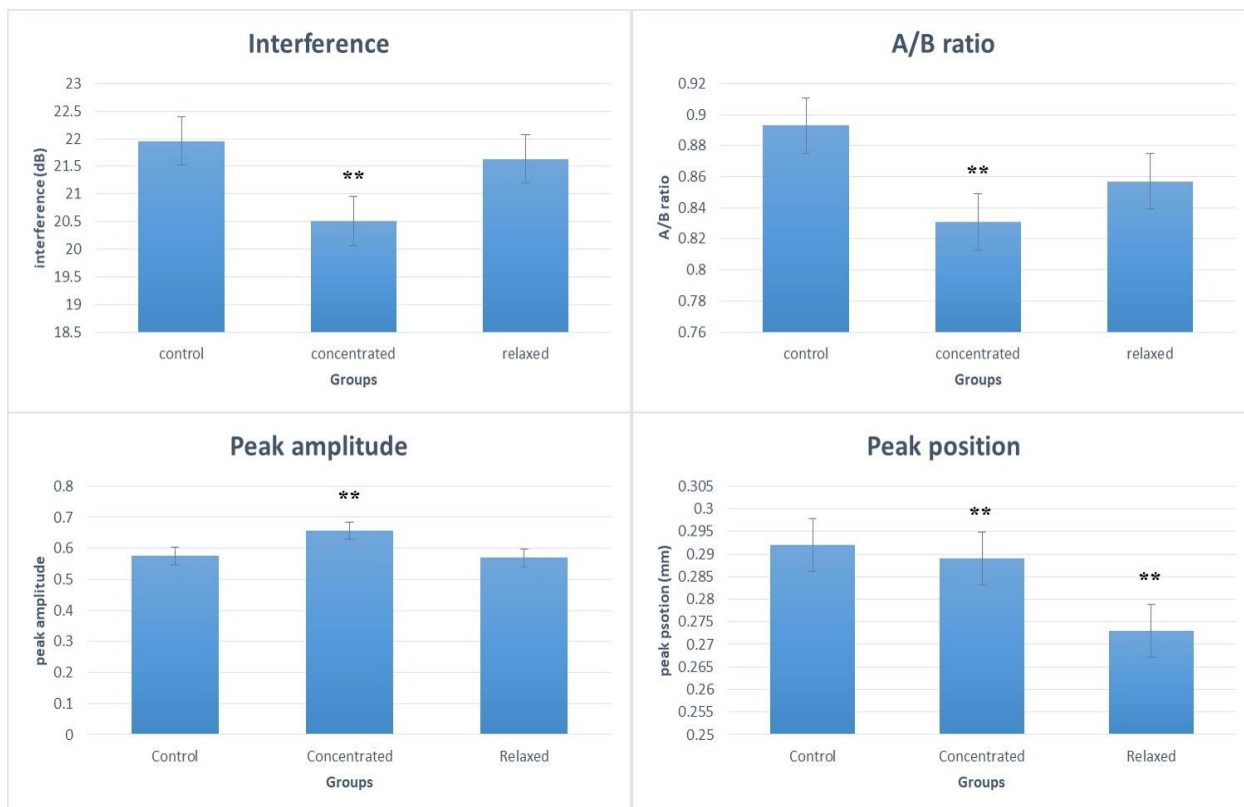


График 9. Вредности четири параметра за контролну и две експерименталне групе.

* означава ниво сигнификантности $<0,05$; ** сигнификантност $<0,01$.

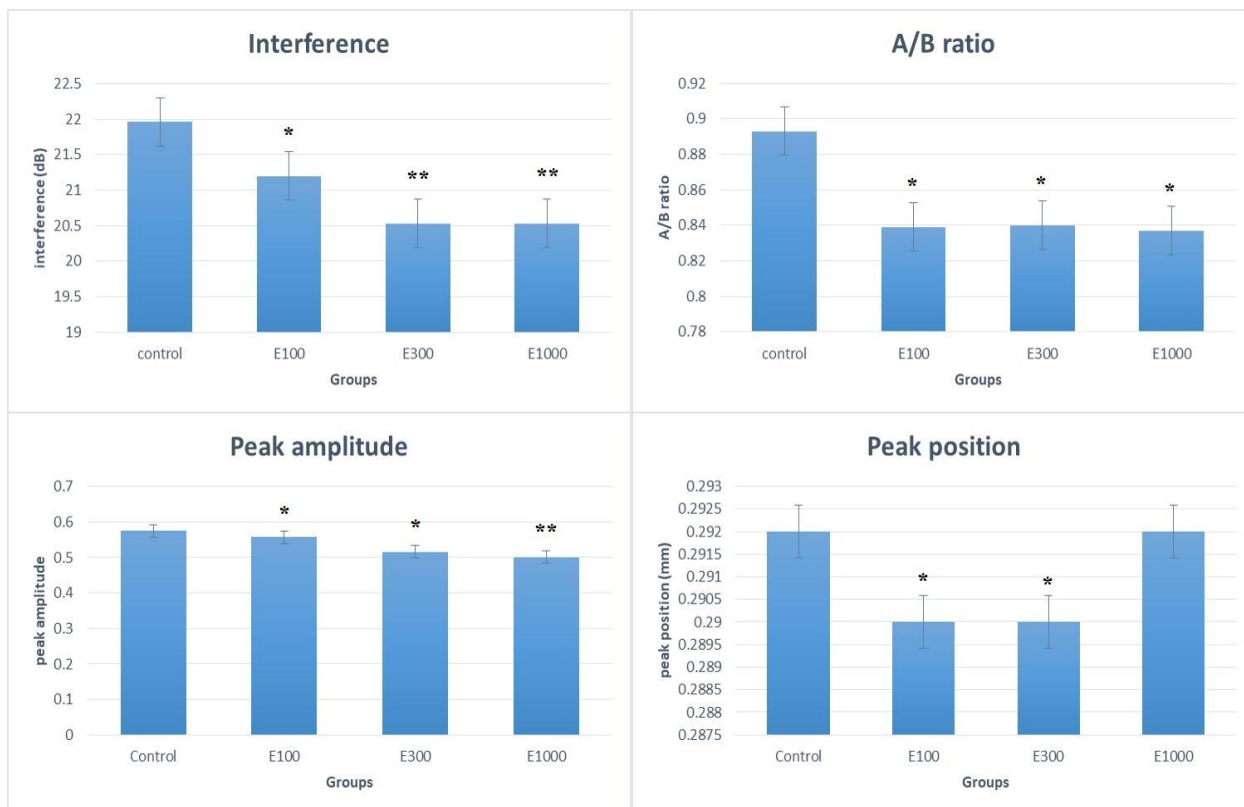


График 10. Вредности четири параметра за контролну и три експерименталне групе.

* означава ниво сигнификантности <0,05; ** сигнификантност <0,01.

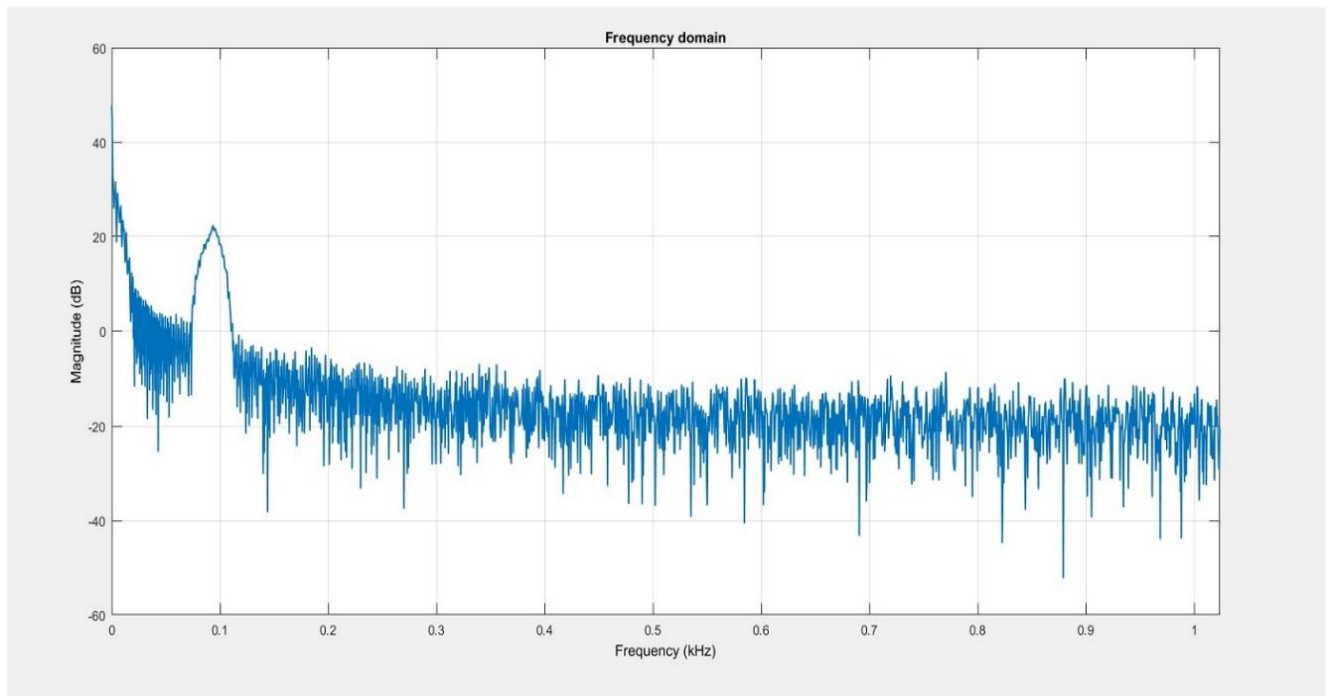


График 11. График спектралне снаге за свеукупну средњу вредност параметра интерференције у контролној групи. На X оси приказана је фреквенција у kHz, на Y оси магнитуда интерференције у dB. Вредност другог пика одговара интерференцији, док вредност првог пика одговара дифракцији.

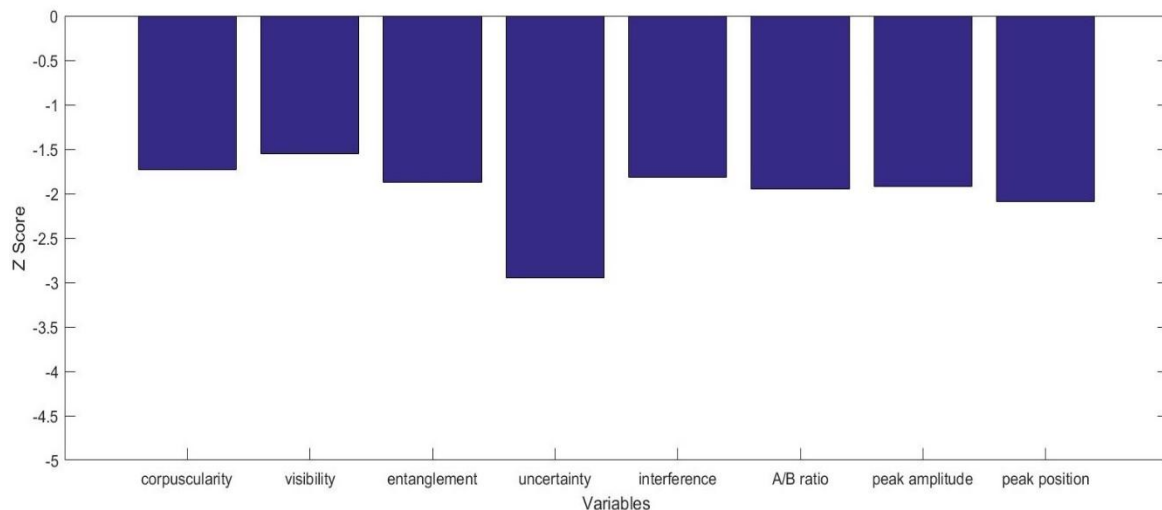


График 12. Вредности Z скора за осам зависних варијабли у експерименталној групи субјеката у стању релаксиране пажње.

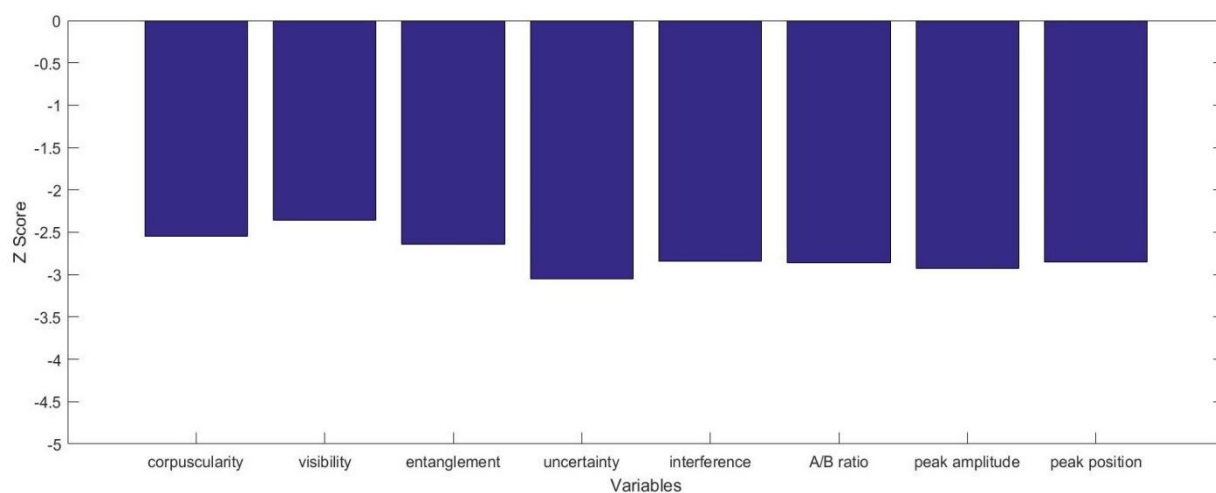


График 13. Вредности Z скора за осам зависних варијабли у експерименталној групи субјеката у стању концентрисане пажње.

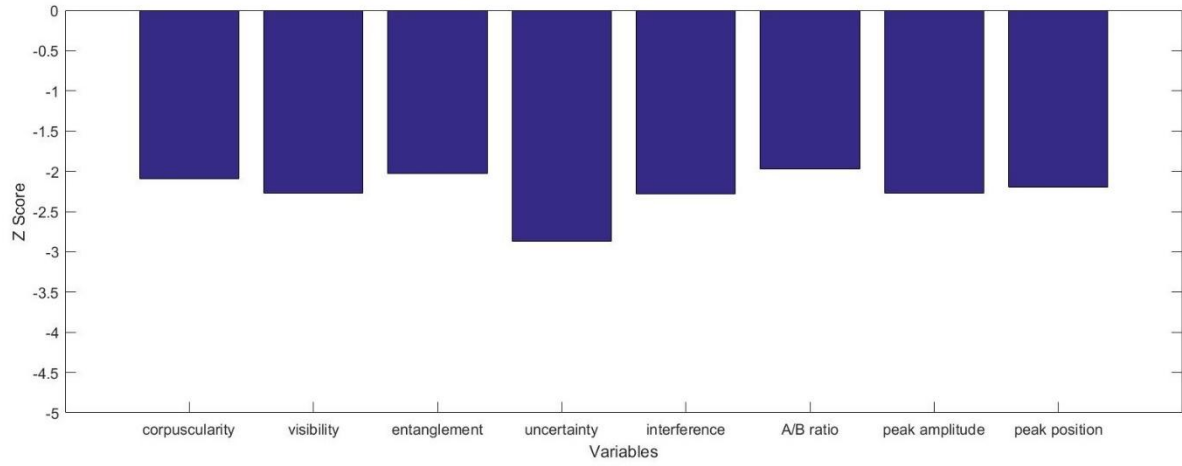


График 14. Вредности Z сора за осам зависних варијабли у експерименталној групи E100.

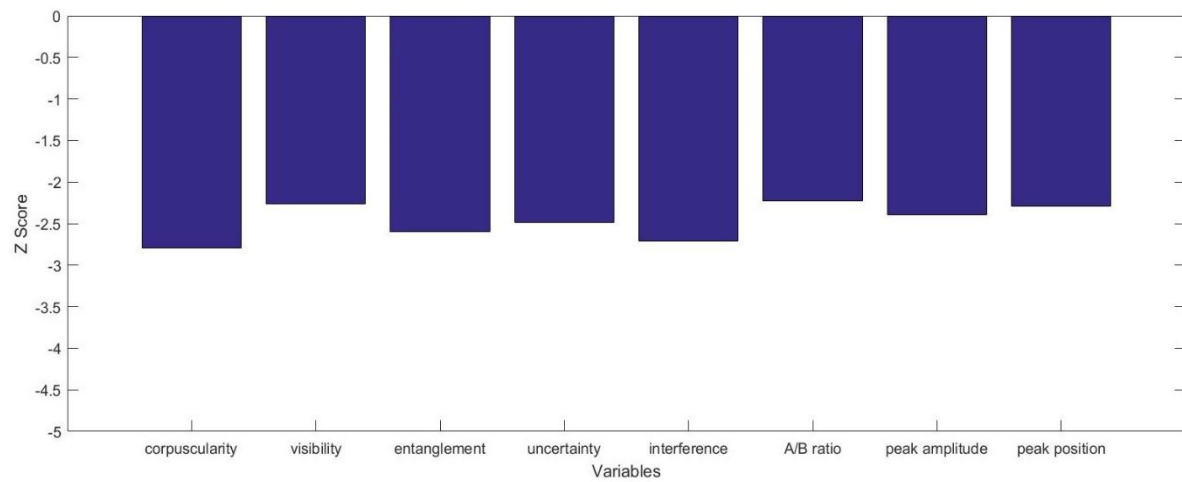


График 15. Вредности Z сора за осам зависних варијабли у експерименталној групи E300.

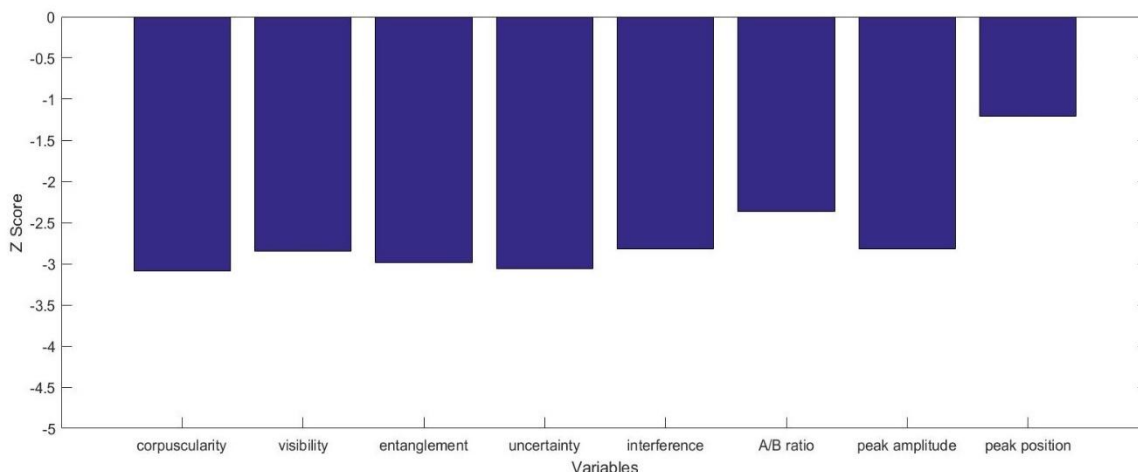


График 16. Вредности Z скора за осам зависних варијабли у експерименталној групи E1000.

Вредности Z скора из табеле 10 приказани су на графицима 12-16. У групи са регистрацијом когнитивног потенцијала П300 у 1000-ој милисекунди (подгрупа E1000) забележене су највеће негативне вредности за прва четири измерена квантна параметара у односу на остале групе, тако да је за корпускуларност тај скор -3,09, за контраст -2,85, за квантну повезаност -2,99 и за Хајзенбергову неодређеност -3,06, док је за интерференцију износио -2,82, а за А/Б количник -2,37 у односу на групу са концентрисаном пажњом где су задња два параметра имала већу негативну вредност: Z скор интерференције износи -2,84, а количник електричног поља -2,86. Вредности Z скора Хајзенбергове неодређености су веома високе и у релакс групи -2,95, али се при томе, као што је већ речено, ова неодређеност увећала у односу на остале групе где се неодређеност смањила у односу на контролну групу.

У циљу што ригорознијег прорачуна Z скора примењена је посебна статистичка метода. Ова метода омогућила је да се у групи субјеката са концентрисаном пажњом одреди време највеће фокусираности пажње, након одговарајуће вокалне команде да субјекти започну са овим задатком. У наставку, у калкулацију је уведен тзв. *lagging* (енг. *lagging* - кашњење) са циљем да се што прецизније измере промене пажње и кореспондирајућег Z скора у групи где се она одржава прилично дуго јер је према пропозицијама експеримента време трајања сваке студије било постављено на вредност 45 секунди.

Ова техника подразумева померање уназад временске серије израчунатих варијабли из поменуте експерименталне групе за један, затим извођење свих

статистичких процедура описаних у поглављу 3.7 да би се добила вредност Z скорa према једначини 27. Ово се понавља у складу са одабраном дужином временског сегмента који је у мом експерименту постављен на 11 секунди од почетка фокусирања пажње.

Претходне студије су показале да је пажња највећа у периоду од 2-4 секунде од почетка задатка. На графику 17 приказане су квантне варијабле за период од 11 секунди, при чему су највеће вредности биле у трећој секунди. Да би прорачун Z скорa појединих варијабли са графика 17 био што реалнији, ниво статистичке значајности p коригован је у складу са Бонферонијевом (итал. *Carlo Emilio Bonfferoni*) корекцијом за поновљена мерења. Тачније, обзиром да се највећа вредност скорa а самим тим и фокусираност пажње очекује током прве 3-4 секунде корекција нивоа значајности сетована је на вредност добијену следећом калкулацијом: $0,05/4=0,0125$ што одговара вредности Z скорa од $-2,495$. На графику 17 запажају се следеће вредности Z скорa у трећој секунди: А/Б количник $-3,16$, интерференција $-3,275$, степен квантне повезаности $-3,24$, корпускуларност $-3,275$, Хајзенбергова неодређеност $-3,33$. Све кореспондентне p вредности Z скорa су далеко испод прага добијеног Бонферонијевом корекцијом.

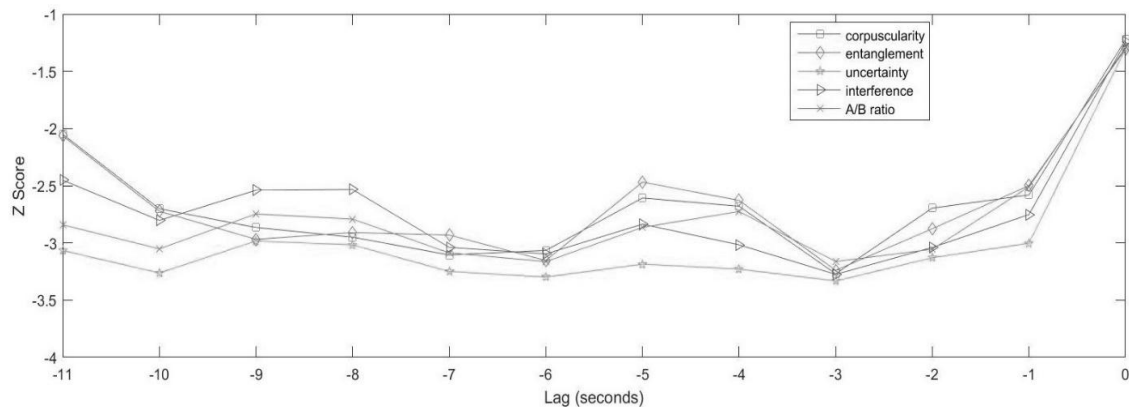


График 17. На слици је приказана вредност Z скорa за пет квантних варијабли, одређена статистичком компарацијом групе са концентрисаном пажњом и контролне групе за сваки временски одсечак посебно на скали од 11 секунди применом једначине 27.

4.3. Поређење физичких и електрофизиолошких резултата

У жељи да покажемо да су резултати физичког дела експеримента реални а не продукт артефицијалних ефеката ометајућих фактора, подаци приказани на графику 17 упоређени су са резултатима физиолошког дела експеримента добијених у две експерименталне групе-релакс и концентрисаној групи. Електрофизиолошка обрада првих шест фреквенционих подручја ЕЕГ сигнала извршена је употребом тзв. Харове (мађ.*Alfred Haar*) *wavelet* (енг.*wavelet*-таласић) анализе. Ова анализа користи секвенце функција “квадратног облика” и по својој природи слична је Фуријевој трансформацији. Међутим, за разлику од Фуријеове трансформације, *wavelet* трансформација користи “уске прозоре” на високим фреквенцијама и “широке прозоре на ниским фреквенцијама“, чиме се ствара добра резолуција и на ниским и на високим фреквенцијама. Ова анализа може се извршити на фреквентном (*frequency slice*) и временском одсечку (*time slice*). За потребе ове студије коришћена је поменута анализа временских одсечака (*time slice*) првог сегмента дужине 9.4 секунди издвојеног из ЕЕГ записа. Статистичка анализа ових сегмената урађена је издвајањем минимума функције, тачније минимума првог нисходног дела криве, а затим и калкулацијом средњих вредности времена издвојених минимума. Добијени резултати приказани су у табели 11.

На графицима 18-21 приказане су средње вредности амплитуда добијених применом *Haar wavelet* анализе временских одсечака дужине 9.4 секунди првих 6 појасних фреквенција *FP1, FP2, F3* и *F4* деривације, у групи од 26 субјеката током 10 сесија. На приказаним графицима јасно се уочава пад амплитуде ЕЕГ сигнала изражен у микроволтима током првих 2-4 секунди, што приближно одговара резултатима добијеним у физичком делу експеримента (график 17). Такође, ови подаци су у сагласности са резултатима претходних студија. Наиме, проф.Радин и сарадници узимају временски интервал 2-4 секунде као период са највећим *Z* скором након примене *lagging* методе калкулације укупног Штоферовог скорa. У њиховом експерименту пратили су параметар интерференције, и добили јасан увид да је колапс таласне функције највећи одмах након почетка експеримента.

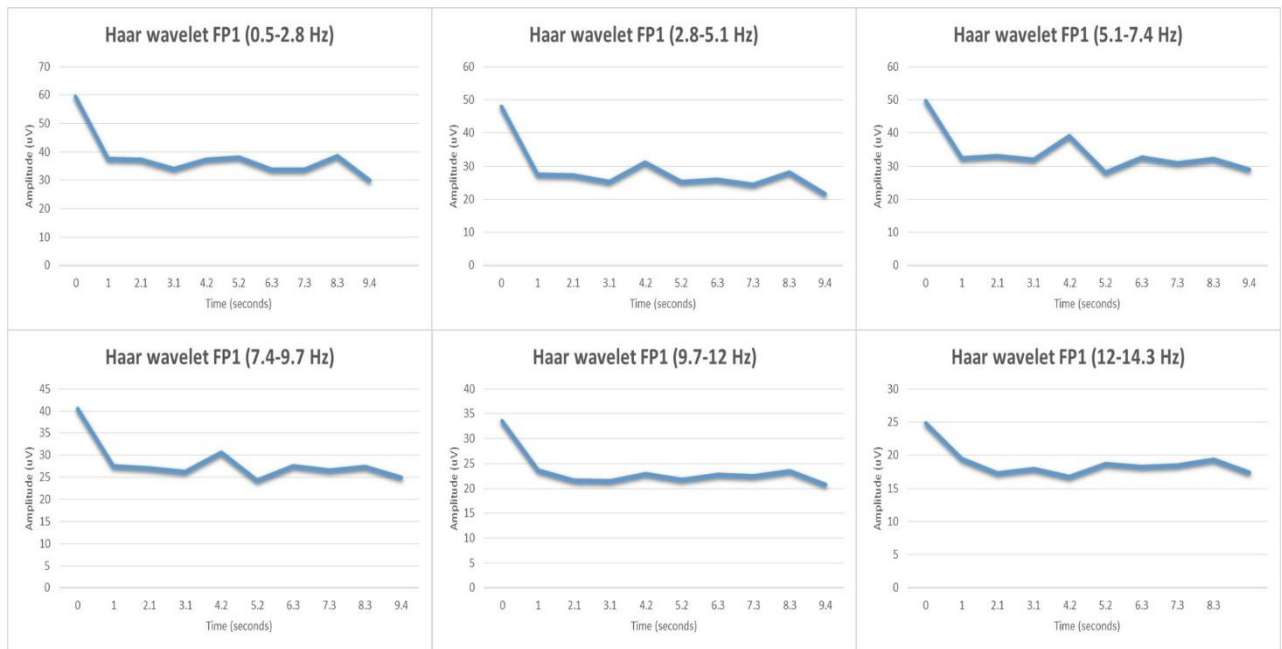


График 18. Средње вредности амплитуде временских одсечака на сегменту дужине 9,4 *sec.* FP1 деривације у шест фреквентних опсега, у експерименталној групи од 26 субјеката у стању фокусиране пажње, током 10 експерименталних сесија. Време је изражено у секундама, амплитуда у μV .

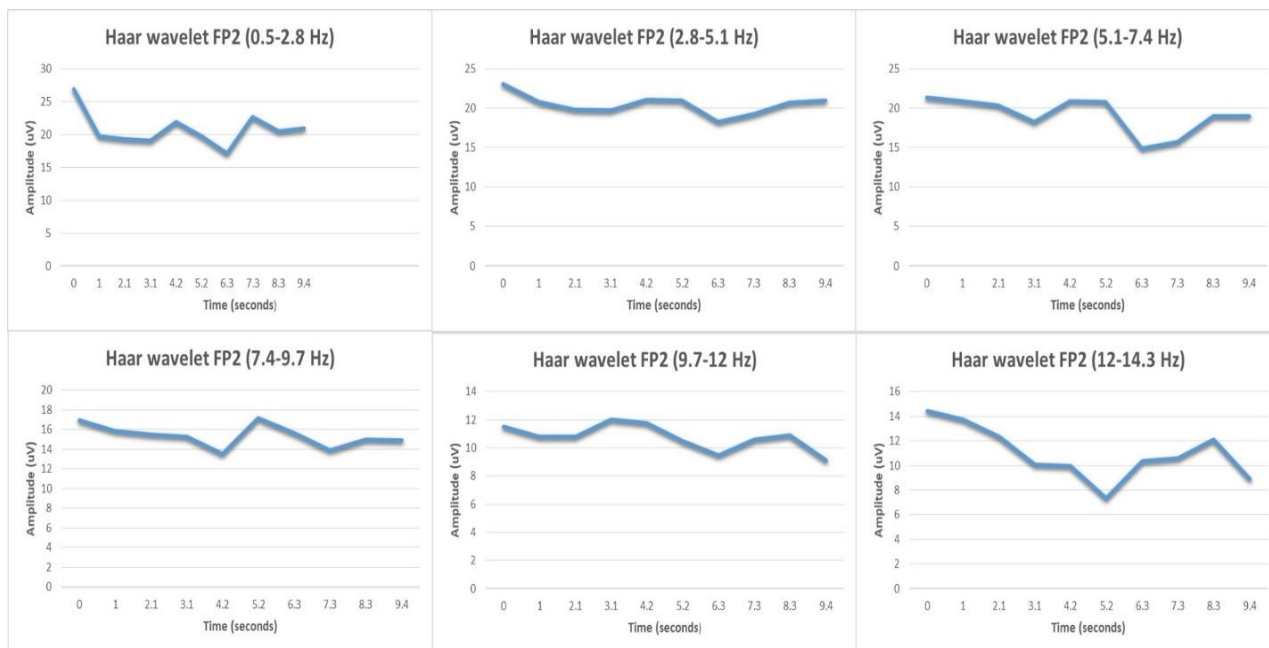


График 19. Средње вредности амплитуде временских одсечака на сегменту дужине 9,4 *sec*. FP2 деривације у шест фреквентних опсега, у експерименталној групи од 26 субјеката у стању фокусиране пажње, током 10 експерименталних сесија. Време је изражено у секундама, амплитуда у μV .

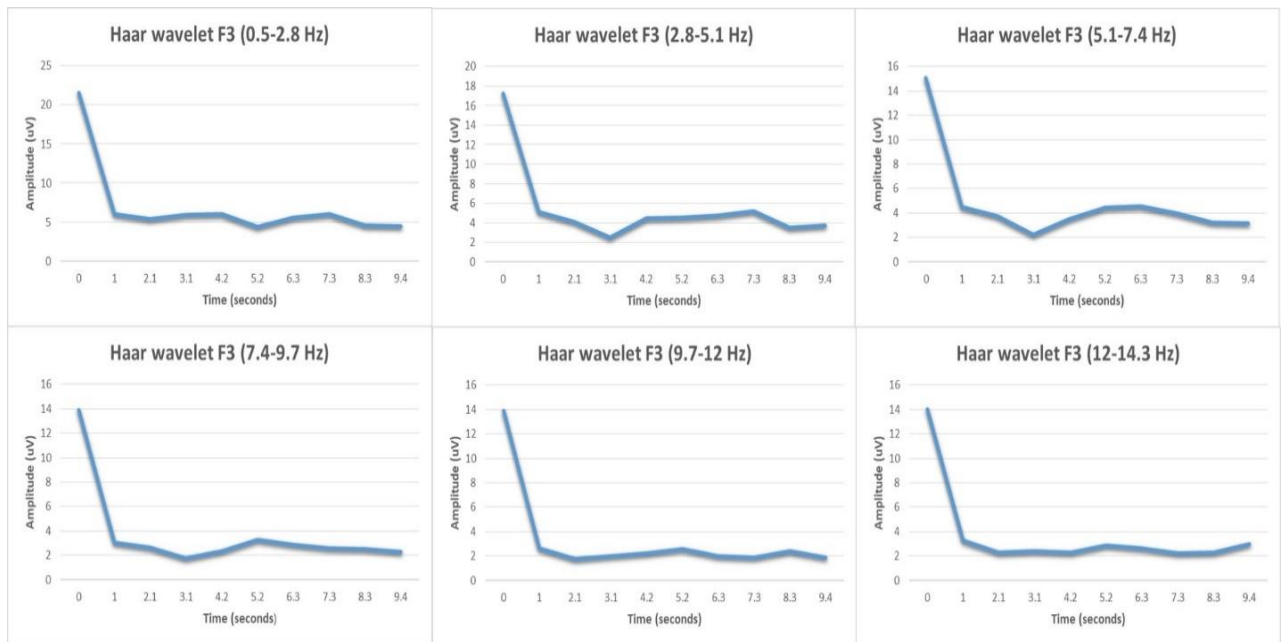


График 20. Средње вредности амплитуде временских одсечака на сегменту дужине 9,4 *sec*. F3 деривације у шест фреквентних опсега, у експерименталној групи од 26 субјеката у стању фокусиране пажње, током 10 експерименталних сесија. Време је изражено у секундама, амплитуда у μV .

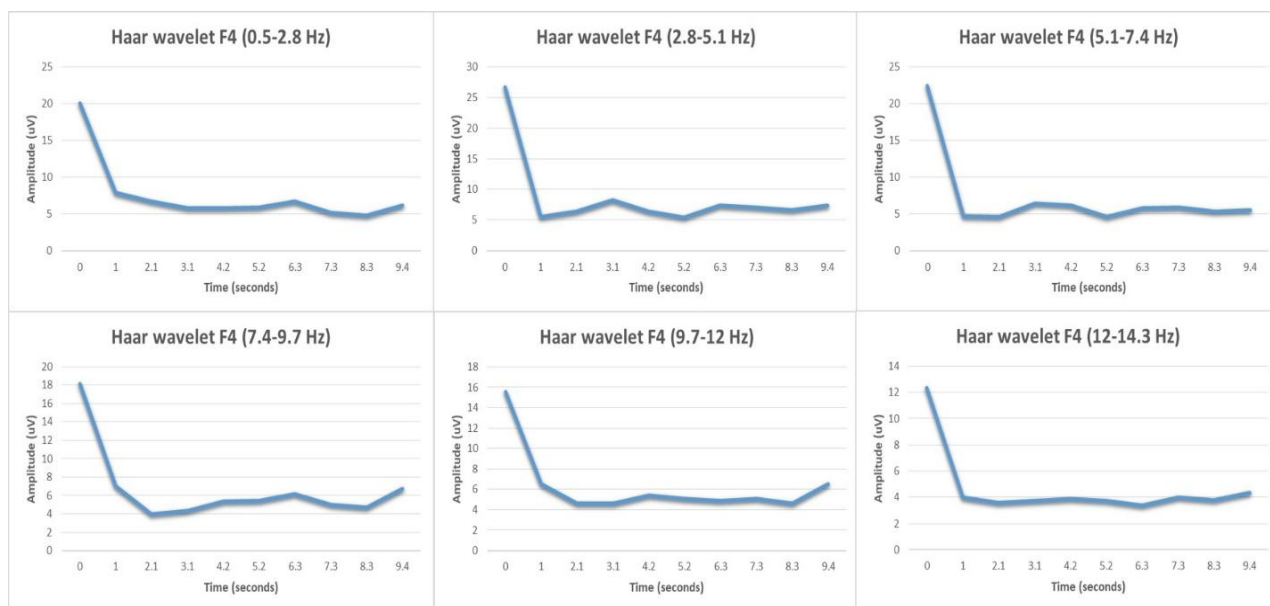


График 21. Средње вредности амплитуде временских одсечака на сегменту дужине 9,4 sec. F4 деривације у шест фреквентних опсега, у експерименталној групи од 26 субјеката у стању фокусиране пажње, током 10 експерименталних сесија. Време је изражено у секундама, амплитуда у μV .

Фреквенције	FP1	FP2	F3	F4
0,5-2,8 Hz	2,85	3,35	3,04	2,42
2,8-5,1 Hz	3,23	3,42	3,00	2,50
5,1-7,4 Hz	3,12	2,73	3,00	2,62
7,4-9,7 Hz	3,31	2,96	2,92	2,73
9,7-12 Hz	3,08	3,12	3,35	3,04
12-14,3 Hz	3,35	3,08	3,27	2,58

Табела 11. Средње вредности временских минимума експерименталне групе субјеката са фокусираном пажњом одређено за шест фреквентних опсега у четири ЕЕГ деривације.

4.4. Вредности Z скорa Бомове фазне разлике

Бомова фазна разлика одређена је рачунским путем у групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала П300: наиме, коришћене су вредности когнитивног потенцијала да би се одредио електрични Бомов фазни померај у експерименталној групи, а затим је, под претпоставком да се он дешава ефектом посматрача, одузет од вредности фазе добијене снимањем и упоређен са вредностима фазе у контролној групи корошћењем сложених статистичких метода описаних у поглављу 3.7. Хипотеза је да се тако добијена вредност неће разликовати од фазе контролне групе. На тај начин би доказали да је помак настао управо дејством посматрача. У табели 12 приказане су вредности Z скорa и одговарајуће вредности *effect size* одређене рачунским путем у деривацијама *FP1* и *FP2* на основу релације 27.

У обе деривације није достигнута статистичка сигнификантност, напротив добијене су веома мале вредности Z скорa и одговарајућег *effect size*, што је доказало хипотезу да електрични Бомов ефекат може бити узрок фазног помераја.

Групе	ЕЕГ деривације	Z	es	p
E100	FP1	0,037	0,011	0,97
	FP2	-0,461	-0,145	0,64
E300	FP1	0,092	0,029	0,93
	FP2	-0,561	-0,177	0,57
E1000	FP1	0,008	0,0025	0,98
	FP2	-0,517	-0,163	0,69

Табела 12. Вредности Z скова (*Z*), *effect size* (*es*) и статистичке значајности (*p*) за Бомову фазну разлику, одређене рачунским путем за две ЕЕГ деривације у групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала П300.

V

Дискусија

Неуронски процеси су по својој природи нелинеарног осцилаторног типа које прате многе повратне спреге. Може се рећи да је мозак нелинеарни квантни систем који показује изражену стохастичку активност [90-93]. Комплексност неуронских процеса огледа се и у њиховом паралелном раду на фону квантних флуктуација јер се класичном физиком овакви процеси не могу у потпуности објаснити. Постојање одређеног можданог ритма који врши декохеренцију неуронских процеса је такође интригантна чињеница, јер се сматра да свест настаје управо током 25 милисекунди, а то је заправо реципрочна вредност фреквенције γ таласа [94-96]. Дакле, у току је развој једног новог приступа неуронским процесима, базиран на принципима квантне механике [97,98]. Квантни процеси у физиолошким процесима су познати и добро дефинисани. Вероватноћа да ће наелектрисана честица, односно јон, проћи кроз мембрану ћелије ван јонских канала износи:

$$P = e^{-\frac{\Delta W}{RT}} \text{ (једначина 36)}$$

У горњој релацији ΔW је потенцијална баријера ћелијске мембране, која за јон натријума и калијума износи 400 KJ/mol , а R је моларна гасна константа или Ридбергова (швед. *Johannes Rydberg*) константа. Процеси фотосинтезе се такође одвијају по квантним законима [99-101].

Квантно тунеловање (једначина 37) као основа многих биохемијских процеса такође је иманентни квантни догађај.

$$T = \sqrt{\frac{2m(V-E)}{\hbar}} \text{ (једначина 37)}$$

У горњој релацији T је трансмисија кроз потенцијалну баријеру, V и E су енергије баријере и посматране елементарне честице, \hbar је редукована Планкова константа.

Физичке основе *double-slit* експеримента заснивају се на функцији вероватноће. Зато што су импулс и координата положаја честице која пролази кроз *double-slit* некомутирајуће величине, посматрана партикула увек има неодређеност у у-компоненти момента импулса, при чему је $p_y = p \sin \theta$ где је $-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$. Вероватноћа да ће честица напустити *double-slit* са моментом p_y је онда дата изразом:

$$P_{(p_y)} = |\langle p_y | \psi \rangle|^2 = (1 + \cos(p_y / \hbar) d) / 2\pi \text{ (једначина 38)}$$

Горе наведена релација представља функцију вероватноће квантне интерференције, при чему је d константа решетке, односно растојање између две пукотине. Ако узмемо

у обзир и дифракцију кроз сваки од отвора дифракционе решетке, онда је поред косинусне функције неопходно увести и синусну функцију за дифракцију, тако да се добија следећа релација:

$$P(\phi) = \frac{2a \left[\cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2 \right]}{\pi} \text{ (једначина 39)}$$

$$\phi = \frac{pd \sin \theta}{h} \text{ (једначина 40)}$$

$$\alpha = \frac{ap \sin \theta}{h} \text{ (једначина 41)}$$

Наведена релација 39 представља оптичку форму квантног *double-slit* експеримента.

Уколико у прорачун уведемо Гаусову дистрибуцију интерференционих максимума и минимума на екрану камере, неопходно је у калкулације увести стандардну девијацију положаја и момента импулса, што је било круцијално за прорачун Хајзенбергове неодређености у појединим експерименталним групама. Апстрахујући фазу и увођењем у прорачун функцију амплитудне вероватноће - $\Phi(x,t)$ партикуле у времену t , као и нормализоване таласне функције (x/p) партикуле са моментом p у једнодимензионалном простору долази се до следећих релација:

$$\phi(x, t) = \frac{1}{(2\pi\sigma_x^2)^{1/4}} e^{-x^2/4\sigma_x^2} \text{ (једначина 42)}$$

$$\langle x/p \rangle = \frac{1}{h} e^{-ipx/\hbar} \text{ (једначина 43)}$$

$$\phi(p, t) = \frac{1}{(2\pi\sigma_x^2 h^2)^{1/4}} \int_{-\infty}^{+\infty} dx e^{-\frac{ipx}{\hbar}} e^{-x^2/4\sigma_x^2} \text{ (једначина 44)}$$

Рачунањем Гаусовог интеграла у једначини 44 долази се до следеће релације:

$$\phi(p, t) = \frac{1}{(2\pi\sigma_p^2)^{1/4}} e^{-p^2/4\sigma_p^2} \text{ (једначина 45)}$$

На основу прорачуна у горе наведеним релацијама јасно је да је производ $\delta_x \times \delta_p = \hbar/4\pi$, што је неопходна релација за прорачун Хајзенберговог принципа неодређености у експерименту.

Претходне студије на пољу квантног *double-slit* експеримента су по први пут овај мисаони експеримент, првобитно предложен од стране Фејнмана, доказале да је могућ и такође потврдиле његову већ поменућу реченицу да је ово најлепши експеримент на свету који у себи носи само мистерију. Резултати проф.Радина и коаутора у студији са 21 учесником показали су да су вредности Z скор

интерференције и фазе били највећи ($z=-5,16$) при временском кашњењу (*lag*) од 3 секунде, што одговара резултатима у мојој студији. Слично, учили су и значајне промене у *Z* скору када је у питању количник електричног поља за сваки од два снопа електромагнетног таласа кроз пукотине *double-slit* решетке ($z=4,38$) у групи са концентрисаном пажњом наспрам групе учесника са релаксираном пажњом, а потпуно исто је уочено и у мојој студији. Ови изванредни резултати проф. Радина и коаутора по први пут су доказали реалност квантог *double-slit* експеримента. Слична студија Гуерера укључила је 127 учесника. Резултати ове студије показали су значајну разлику у групи са фокусираном пажњом у односу на релакс групу ($p=1,89 \times 10^{-10}$) подржавајући теорију о егзистенцији недовољно познатог модалитета интеракције између свесног посматрача и спољашњег физичког система.

У мојој студији откривена је и на основу резултата доказана квантна повезаност по типу квантог ланца између свесног посматрача и спољашњег оптичког система. Ова квантна повезаност је најбоље објашњење Гуереровог Максвелог демона који се по мишљењу овог истраживача крије у међусобној интеракцији посматрача и оптичког система.

Помоћу Енглерт-Гринбергер-Јасинове релације доказано је повећање корпускуларних особина електромагнетног таласа, односно повећање “*which-way*” информације на основу Боровог принципа комплементарности.

Вероватноћа да су било које две честице повезане у универзуму на основу Шмитове декомпозиције износи $(5\sqrt{5}-11)/2$, односно 9%. Ово се може представити и преко параметра златног пресека ϕ као: ϕ^5 , при чему ϕ износи: $(1+\sqrt{5})/2$. Узимајући у обзир снагу електромагнетног таласа ласера као и број јона у екстрацелуларној и у интрацелуларној течности мозга укупна вероватноћа је сасвим довољна за њихову међусобну интеракцију. Студија Радина и коаутора, није показала апсолутне промене параметра интерференције, тако да је остао нејасан смер промена ове варијабле.

Када је у питању количник електричног поља, промена у било којем смеру указује на смањење интерференције и самим тим на колапс таласне функције, што је илустративно и показано у студији овог аутора. Неопходност ригорозних статистичких калкулација произилази из постојања Гаусових стохастичких осцилација интензитета електромагнетног таласа, као и због могућег спољашњег артефицијалног ефекта околине.

Такође, параметри показују значајну аутокорељацију па су стога, обзиром на дуго време снимања камером, неупотребљиви за даље анализе и захтевају примену детрендовања и бутстрапа што је и проф. Радин употребио у својој студији.

Колапс таласне функције и повећање честичних особина таласа најбоље се види употребом наведене Енглерт-Гринбергер-Јасинове једначине, при чему је збир квадрата видљивости и корпускуларности увек мањи од јединице. Мерењем вредности максималног и минималног интензитета светлости на првом интерференционом максимуму добијене су статистички сигнификантне промене у параметру корпускуларности са изузетком релакс групе, где је она такође повећана у односу на контролну групу али без статистичке значајности: $0,301 \pm 0,048$ vs. $-0,293 \pm 0,045$, *es.* $-0,54 \pm 0,32$, $p=0,08$, што је приказано у табели 9а и табели 10, као и на графицима 7 и 12. У осталим групама највећи пораст у односу на контролну групу забележен је у E1000: $0,315 \pm 0,045$ vs. $0,293 \pm 0,045$, *es.* $-0,97 \pm 0,32$, $p < 0,01$ (табела 9а и табела 10; графици 8 и 16), док је у концентрисаној групи ово повећање у односу на контролну групу износило $0,308 \pm 0,054$ vs. $0,293 \pm 0,045$, *es.* $-0,80 \pm 0,32$, $p=0,01$ (табела 9а и табела 10; графици 7 и 13), при чему треба нагласити да је након примене *lagging* методе вредност Z скорa у трећој секунди била већа и износила је $-3,275$, *effect size* $-1,036$, статистичка значајност $p < 0,01$ (тачније $0,001057$), што се може видети на графику 17. Када је у питању група E100, добијене вредности се дискутују касније.

Параметар комплементаран корпускуларности је видљивост или контраст, који се такође може користити за детекцију промена дуалних особина електромагнетног таласа, односно фотона ласерског снопа који је коришћен у овој студији. Вредности ове варијабле се у интерактивном пољу субјеката са фокусираном пажњом смањују, тј. супротно од смера промена параметра корпускуларности, па је тако $0,949 \pm 0,016$ vs. $0,954 \pm 0,013$, *es.* $-0,75$, $p=0,018$ у концентрисаној групи у односу на контролну, и $0,952 \pm 0,013$ vs. $0,954 \pm 0,013$, *es.* $-0,49$, $p=0,12$ у релакс групи, што се може видети у табели 9а и 10, као и на графицима 7, 12 и 13.

Степен квантне повезаности који је детаљно испитан у мојој студији је директно повезан са описаном вероватноћом квантне повезаности две елементарне честице.

Највећа вредност параметра степена квантне повезаности износи $\ln 2$ у условима нултог контраста, односно видљивости, када је према Енглерт-Гринбергер-Јасиновој еквацији корпускуларност максимална, што значи да су под тим условима фотони задобили честична својства и показују максималну квантну повезаност. Квантна повезаност, одређена путем релације 31, са изузетком релакс групе значајно је

била увећана у свим осталим експерименталним групама извршене студије. У групи са концентрисаном пажњом у односу на контролну групу то повећање је износило: $0,116\pm 0,031$ vs. $0,106\pm 0,025$, *es.* $-0,83\pm 0,32$, $p<0,01$, у E100 групи вредност квантне повезаности и ниво статистичке значајности били су: $0,112\pm 0,025$ vs. $0,106\pm 0,025$, *es.* $-0,64\pm 0,32$, $p=0,04$, у E300 групи забележене су веће вредности параметра и виши ниво статистичке значајности: $0,114\pm 0,028$ vs. $0,106\pm 0,025$, *es.* $-0,82\pm 0,32$, $p<0,01$, док су у подгрупи E1000 добијене највеће вредности испитиваног параметра нивоа квантне повезаности: $0,120\pm 0,026$ vs. $0,106\pm 0,025$, *es.* $-0,94\pm 0,32$, $p<0,01$. Наведени резултати презентовани су у табелама 9а и 10, као и на графицима 7 и 8. Ако претпоставимо постојање квантног ланца, онда се степен квантне повезаности или заплетености односи и на везу између физиолошког и оптичког система, а не само на куплунг фотона који пролазе кроз дифракциону решетку изражен преко исте варијабле. Наиме, ако претпоставимо да два фотона могу имати спин на горе (\uparrow) и спин на доле (\downarrow), а да се њихова околина, односно посматрач, могу наћи у стању 1 и стању 2, онда се квантна заплетеност физиолошког и *double-slit* система може представити као: $a\phi_{\uparrow}\phi_1 + b\phi_{\downarrow}\phi_2$, при чему је вероватноћа да ће посматрач измерити спин фотона на горе- a^2 , а спин фотона на доле- b^2 . Ситуација постаје сложенија када суперпозицију два заплетена фотона или два различита система (физички и физиолошки), који се симболично у квантној физици означавају као Алисин (*Alice-A*) и Бобов (*Bob-B*) фотон, представимо математички као комбинацију спинова (на једној оси) које не можемо знати пре мерења:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(\Psi_{\uparrow}^A\Psi_{\downarrow}^B - \Psi_{\downarrow}^A\Psi_{\uparrow}^B) \text{ (једначина 46)}$$

Али, ако Алиса и Боб мере спинове фотона не у једном, већ у два различита правца, под одређеним углом θ , онда је према Беловим неједнакостима корелација или вероватноћа мерења за N различитих комбинација која укључује чак и комбинације истих спинова једнака:

$$P(\theta) = \frac{N_{\uparrow\uparrow} + N_{\downarrow\downarrow} - N_{\uparrow\downarrow} - N_{\downarrow\uparrow}}{N} = 1 - \frac{\theta}{90} \text{ (једначина 47)}$$

Дакле, вероватноћа може бити једнака или мања од јединице, те се зове Белова неједнакост. Међутим, резултати квантне механике показују да се ова вероватноћа мења као косинус угла ($\cos\theta$), те је она на распону угла од 0 до 90 степени увек већа од Белових вредности. Сходно Беловој неједнакости, једини начин да се повећање броја инверзно заплетених фотона ($N_{\uparrow\downarrow}$ или $N_{\downarrow\uparrow}$) на дифракционој решетки у интерактивном пољу фокусиране пажње компензује јесте повећање броја $N_{\uparrow\uparrow}$ или $N_{\downarrow\downarrow}$, а који у мојој

студији могу представљати и спрегу физиолошког и физичког система као што смо већ објаснили. Из претходне дискусије може се закључити да се квантна декохеренција у неуронима у условима свесне пажње пресликава путем квантне заплетености на оптички систем где се појачавају корпускуларна својства таласа и степен квантне заплетености међу фотонима на основу релација 31 и 47.

Дакле индиректно, преко података добијених у физичком делу система, долази се до закључка о квантним основама свести преко њених рефлексија на понашање спољашњег физичког система.

Евентуални колапс суперпозиције у неуронском квантном систему се путем квантне повезаности преноси на оптички систем, узрокујући колапс таласне функције ласерске светлости, што је и детектовано у мојој студији. Овај квантни ланац повезаности као такав могао би се користити за детекцију у променама свесне пажње, што је и доказано у овој студији (график 17).

Једна веома важна карактеристика квантне интерференције представља и и Хајзенбергов принцип неодређености изражен путем релације 28. Неодређеност импулса дуж у-осе представљена је релацијом 29, док се за неодређеност положаја дуж х-осе узима димензија пукотине дифракционе решетке (параметар а решетке), односно интерференционе дистанце на екрану, представљене као растојање између централног и осталих максимума, при чему се наравно узима стандардна девијација овог растојања о чему је претходно већ дискутовано.

У интерактивном пољу концентрисане пажње неодређеност се сигнификантно смањила, па тако вредности у концентрисаној групи у поређењу са контролном износе $1,122 \pm 0,267$ vs. $1,165 \pm 0,244$, *es.* $-0,95$, $p < 0,01$. Највећи пад неодређености у групи са регистрацијом когнитивног потенцијала П300 измерен је у Е1000 подгрупи: $1,127 \pm 0,259$ vs. $1,165 \pm 0,244$, *es.* $-0,96$, $p < 0,01$ (табела 9а и 10).

Интересантно, у групи субјеката у стању релаксиране пажње уочен је сигнификантан пораст неодређености: $1,209 \pm 0,263$ vs. $1,165 \pm 0,244$, *es.* $-0,93 \pm 0,32$, $p < 0,01$ (табела 9а и табела 10, графици 7 и 12), што иде у прилог чињенице да се без присуства учесника у стању активне пажње могу забележити и наизглед парадоксалне промене неодређености.

Међутим, резултати електричног Бомовог ефекта за фазну разлику дају јасан увид у понашање система у присуству когнитивних евоцираних потенцијала П300 као индикатора брзе активне пажње. Бомов електрични ефекат је интеракција између можданог електрицитета и фотона уз Луј де Брољеу претпоставку да је фотон заправо

фузија електричног и магнетног фотона, односно композиција две Диракове (енг.*Paul Dirac*) честице [102].

Дакле, без присуства евоцираних потенцијала који индукују фазни померај, могуће су промене фазе и у супротном смеру, нарочито ако се узму у обзир и спонтане осцилације самог снопа електромагнетног таласа, односно ласерске светлости. Резултати приказани у табели 12, показују да се дејством когнитивног потенцијала П300, за потребе статистичких калкулација измереног у две фронталне ЕЕГ деривације, не достиже статистичка сигнификантност у разлици фазе контролне и експерименталне групе Е100, Е300 и Е1000, што указује да би овај ефекат могао бити одговаран за промене фазе и позиције интерференционих максимума и минимума па самим тим и у Хајзенберговом принципу неодређености, мада је то у овој студији било могуће доказати само за групу са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала П300.

То показују и следећи статистички резултати за Бомову фазну разлику у групи Е100: *FP1* ($Z=0,037$ es. 0,011, $p=0,97$), док су у деривацији *FP2* измерене вредности биле такође несигнификантне: $Z=-0,461$, es.-0,145, $p=0,64$. У групи Е300, у деривацији *FP1*, Z скор је износио 0,092, *effect size* 0,029, а остварени ниво статистичке значајности износио је 0,93. У *FP2* деривацији Е300 групе Z скор је износио -0,561, *effect size* -0,177 са нивоом значајности 0,57. Када је у питању Е1000 група у *FP1* деривацији Z скор је био 0,008, *effect size* 0,0025, док је статистичка значајност поново била далеко изнад граничне вредности и износила је 0,98. Код исте групе у *FP2* деривацији израчунати Z скор је износио -0,517, при чему је вредност *effect size* био -0,163, а p вредност 0,69. Закључак је да се дејством електричног Бомовог ефекта може објаснити померај фазе квантне интерференције.

У извршеном експерименту ради квантификације саме свести измерени су и рачунским путем одређени параметри ЕЕГ сигнала које представљају независне варијабле у студији. У групи са концентрисаном пажњом забележен је пораст амплитуде β_2 ритма од 27,65%, док су истовремено θ и δ ритам били смањени за вредност 20,49% и 8,64% (график 1). На сличан начин су и индекси ритма ЕЕГ таласа били промењени, па је тако β_2 био повећан за 15,8%, β_1 за 11,6%, док је θ ритам био смањен за 3,4%, а индекс δ ритма за 21,6%, што је приказано на графику 2.

Такође, пад параметра снаге ЕЕГ сигнала био је сигнификантан у свим деривацијама изузев *P4* ($p=0,927$), *F7* ($p=0,387$), *F8* ($p=0,194$), *T3* ($p=0,616$) и *T6* ($p=0,873$), док је у деривацији *T5* забележен несигнификантни ($p=0,439$) пораст снаге

ритма (табела 4). Нарочито изражен пад регистрован је у деривацијама *FP1* ($7,42 \pm 3,20$ vs. $5,05 \pm 2,08$, $p < 0,01$) и *FP2* ($7,17 \pm 2,69$ vs. $4,69 \pm 1,91$, $p < 0,01$).

Аутокорелација ЕЕГ сигнала је била сигнификантно смањена ($p < 0,01$) у групи учесника експеримента у стању фокусиране пажње у односу на релакс групу у већини деривација (табела 5), док је у исто време унакрсна корелација била смањена у *FP1-FP2* ($0,30 \pm 0,05$ vs. $0,22 \pm 0,04$, $p < 0,01$), *F3-F4* ($0,22 \pm 0,04$ vs. $0,16 \pm 0,03$, $p < 0,01$) и *P3-P4* симетричним деривацијама ($0,27 \pm 0,05$, vs. $0,24 \pm 0,05$, $p = 0,011$) при компарацији релакс и концентроване групе (табела 6). У централним и каудалним деривацијама *F7-F8* ($0,11 \pm 0,01$ vs. $0,21 \pm 0,05$, $p < 0,01$), *C3-C4* ($0,09 \pm 0,02$ vs. $0,12 \pm 0,03$, $p < 0,01$) и *T3-T4* ($0,14 \pm 0,02$ vs. $0,18 \pm 0,04$, $p < 0,01$) била је значајно повећана са изузетком *T5-T6* ($0,14 \pm 0,04$ vs. $0,15 \pm 0,02$, $p = 0,524$) где сигнификантност није достигнута.

Параметри детерминистичког хаоса (ентропија, корелациона димензија 2 и Лијапунов експонент), одређени су на основу података из четири ЕЕГ деривације и приказани су у табели 7. Ентропија је била сигнификантно увећана у групи са концентрисаном пажњом учесника у поређењу са релакс групом у *FP1* деривацији ($0,40 \pm 0,05$ vs. $0,37 \pm 0,05$, $p < 0,05$), *FP2* ($0,42 \pm 0,05$ vs. $0,36 \pm 0,04$, $p < 0,01$) и *F4* деривацији ($0,43 \pm 0,04$ vs. $0,37 \pm 0,03$, $p < 0,01$), док је несигнификантни инкремент детектован у *F3* деривацији. У групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала П300 ентропија је била повећана у свим групама, а значајна разлика достигнута је у *FP2* деривацији ($0,41 \pm 0,06$ vs. $0,36 \pm 0,04$, $p < 0,01$) и *F4* деривацији ($0,40 \pm 0,04$ vs. $0,37 \pm 0,03$, $p < 0,01$). Ово повећање ентропије указује и на пораст количине информација субјекта у експерименту, односно просечна количина информација коју продукује партиципант је већа, па с' обзиром на претпостављени ефекат посматрача и Кинкедову једначину 17, овај пораст ентропије веома добро објашњава и смањење интерференције која је запажена у овој студији, а самим тим и колапс таласне функције. Слично томе, примећена је и инверзна релација између увећане ентропије ЕЕГ сигнала и редукције Хајзенбергове неодређености физичког сигнала, што је такође последица веће количине информација коју партиципанти имају у вези *double-slit* оптичког система у стању концентрисане пажње, а што даље кореспондира и са акцентованим понашањем ЕЕГ сигнала по обрасцу детерминистичког хаоса. Корелациона димензија 2 била је значајно увећана у свим деривацијама у концентрисаној наспрам релакс групе, док је Лијапунов експонент био сигнификантно увећан у *F4* деривацији ($0,35 \pm 0,05$ vs. $0,32 \pm 0,04$, $p < 0,05$) и несигнификантно у *FP1*, *FP2* и *F3* деривацији, индикујући пораст хаотичног понашања са великом осетљивошћу на иницијалне услове код учесника у

стању високо концентрисане пажње. У групи са регистрацијом когнитивног потенцијала П300 корелациона димензија 2 била је сигнификантно увећана у *FP2* ($2,72 \pm 0,17$ vs. $2,63 \pm 0,16$, $p < 0,05$) и *F4* деривацији ($2,75 \pm 0,12$ vs. $2,69 \pm 0,09$, $p < 0,05$), што је супротно резултатима у *F3* деривацији где је била несигнификантно увећана ($2,73 \pm 0,14$ vs. $2,68 \pm 0,09$, $p > 0,05$) и *FP1* деривацији где је била несигнификантно смањена ($2,66 \pm 0,22$ vs. $2,68 \pm 0,27$, $p > 0,05$), што је приказано у табели 7. Лијапунов експонент био је несигнификантно увећан у *FP2* и *F4* деривацији, са изузетком *F3* деривације где је запажен несигнификантни декремент вредности у групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала П300.

Од великог интереса је чињеница да се сигнификантно увећање честичних особина електромагнетног таласа дешава током првих 100 милисекунди односно у подгрупи E100. Наиме, корпускуларност се повећава значајно: $0,301 \pm 0,044$ vs. $0,293 \pm 0,045$, $es = -0,66$, $p = 0,03$, док се интерференција значајно смањила: $21,20 \pm 0,443$ vs. $21,63 \pm 0,218$, $es = -0,72$, $p = 0,02$. А/Б количник се такође значајно смањило: $0,839 \pm 0,018$ vs. $0,893 \pm 0,001$, $es = -0,62$, $p = 0,04$. Сви наведени резултати приказани су у табелама 9а, 9б и 10, као и на графицима 8, 10 и 14, а ове сигнификантне квантне промене индикују могућност *backward time referral* ефекта когнитивног потенцијала П300 што је веома слично Либетовој теорији. Према Либетовим налазима, свест се појављује током првих 100 милисекунди насупрот можданим потенцијалима са дужом латенцом (300-500 милисекунди). Важна чињеница је да су ови потенцијали неопходни за појаву свести. Ова темпорална дезорганизација и инверзни распоред догађаја указују на могућност да П300 показује *backward time referral* ефекат током првих 100 милисекунди интеракције са неуронским квантним системом. Узимајући у обзир могућност да су неуронски и физички квантни систем повезани, овај ефекат има утицај и на *double-slit* дифракцију, као што су моји резултати за E100 подгрупу и показали. Заправо, ако се крене од добијених резултата у релакс групи где није достигнута статистичка значајност за параметре који мере квантни колапс таласне функције, док су исти ти параметри значајно промењени у E100 групи, уз истовремено задовољени кондиционал појаве когнитивног евоцираног потенцијала П300-приказано на сликама 10 и 11 и у табели 8, онда је јасно да су промене измерене у физичком делу система групе E100 индиректни доказ *backward time referral* дејства потенцијала П300 на појаву свести током првих 100 милисекунди без обзира на каснију појаву овог потенцијала због његове латенце. Овај ефекат би могао бити доказ интервенције будућности на догађаје у прошлости. Такође, на слици 11 се може видети да се Н1 компонента

когнитивног евоцираног потенцијала појављује у паријеталним регијама мозга, док се П300 локализује више у окципиталним и мање у паријеталним регијама, слично резултатима претходне студије код десноруких особа [103]. Да ли је Либетов ефекат знак детерминизма тешко је рећи. Међутим, и неки претходни радови од стране Ханса Корнхубера (нем. *Hans Helmut Kornhuber*) и Декеа (нем. *Lüder Deecke*) на пољу *bereitschaftspotential* (нем. *bereitschaftspotential*-потенцијал спремности) показале су да се овај потенцијал појављује 350 милисекунди пре саме свести указујући на могуће одсуство слободне воље.

Један веома важан резултат до кога је дошла ова студија, представља и могућност прецизних статистичких прорачуна времена највећег дејства фокусиране пажње, индиректно путем мерења квантних параметара, односно зависних варијабли уз примену детаљно описане *lagging* процедуре. Резултати су показали да је колапс таласне функције највећи три секунде након добијања вокалне команде за почетак фокусирања пажње, пошто су сви описани параметри били мањи од Бонферонијеве граничне вредности Z скорa за поновљена мерења, рачунским путем сетоване на вредност $-2,495$.

Вредности Z скорa су праћене на интервалу дужине 11 секунди од укупно 45 секунди колико траје фокусирање пажње у концентрисаној групи. Највећу вредност Z скорa има Хајзенбергова неодређеност: $-3,33$, при чему је вредност *effect size* била $-1,05$, што је унутар горње границе интервала које захтевају прецизне студије, а то је вредност $1,2$. Промене Z скорa пет квантних параметара током временског интервала од 11 секунди приказане су на графику 17. Овај график доказује могућност детекције промена у свесној пажњи индиректно путем мерења параметара у физичко-оптичком систему захваљујући њиховој квантној повезаности, што је и доказано на основу добијених резултата за овај параметар, о чему је већ дискутовано и приказано у табелама 9а и 10, као и на графицима 7 и 13. Да би стекли увид у тачност ових мерења, резултати са графика 17 упоређени су са резултатима добијеним путем ЕЕГ. Обрадом ових резултата применом Харове методе одређена су времена минимума амплитуде појединих ЕЕГ ритмова, што је приказано у табели 11. Ова времена се крећу у распону од 2,42 секунде у $F4$ деривацији појасне фреквенције 0,5-2,8 Hz па до 3,42 секунде у $FP2$ деривацији појасне фреквенције 2,8-5,1 Hz, што је веома блиско резултатима добијеним у физичко-оптичком систему. Такође, на графицима 18-21 приказане су средње вредности амплитуде током свих десет сесија за фреквентни опсег 0,5-14,3 Hz, а који је подељен на шест фреквентних појасева са кораком од 2,3 Hz у Харовим

дијаграмима временских одсецака (*time slice*). На графицима се јасно види да се највећи пад амплитуде ритма који одговара δ , θ и α ритму дешава управо у интервалу 2- 4 секунде (у просеку три секунде), што је блиско резултатима измереним у физичком систему, као и резултатима до којих је дошао Радин са коауторима мерећи само интерференцију у физичком систему.

Када су у питању квантне особине свести, јасно је да су добијени резултати квантних варијабли ово недвосмислено и доказали, нарочито ако се пође од података добијених за степен квантне повезаности који доказују да је квантна повезаност заправо тражени скривени механизам, Максвелов демон, између два квантна система. Сама квантна механика свести је прилично сложена и контроверзна по својој природи, што је уосталом и цела квантна физика. Радови Хамерофа и Пенроуза су веома интригантни, али као што сам већ поменуо у уводу, изложени и бројним критикама. Указао бих да је већ поменути критицизам од стране Тегмарка можда и неутемељен, нарочито ако се пође од његове релације за временски интервал у коме се дешава претпостављени колапс суперпозиције стања. Ако погледамо следећу једначину у којој τ представља време декохеренције суперпонираног стања, m масу јона, k Болцманову (енг. *Ludwig Boltzmann*) константу, T температуру, N број јона, n њихову концентрацију, q наелектрисање јона, док ϵ_0 представља диелектричну константу, онда се може видети сличност са релацијом за прорачун средње брзине Брауновог (енг. *Robert Brown*) кретања молекула, или јона. На основу релације 48, Тегмарк је закључио да се колапс дешава у интервалу 10^{-13} секунди, што је веома кратко време да би га могли пратити било какви неуронски и биохемијски процеси.

$$\tau = \frac{\sqrt{m(kT)^3}}{N(1/4\pi\epsilon_0)^2 q^4 n} \text{ (једначина 48)}$$

Међутим, сама релација представља проблем ако се боље анализира, јер време увек инверзно корелира са брзином, док је у овом случају израз за Болцманову брзину директно пропорционалан времену декохеренције. Даље, поменуо бих један веома добар рад Миноура и Мута (*Minoura et Muto*) који је разматрао брзину организације микротубула у неурону, при чему су дошли до следеће прелепе релације 49 [104].

$$\tau = \frac{2\pi l^2 \eta C_r}{(\alpha/l)E^2} \text{ (једначина 49)}$$

У претходно наведеној једначини τ је временска константа оријентације микротубула, l дужина микротубула, r њихов радијус, α ефективни поларизациони коефицијент микротубула, η вискозност, а C_r фактор форме- $1/3(\ln(l/r)-1/2)$, E је јачина електричног

поља. Фитовањем ове релације користећи емпиријске податке о оријентацији микротубула добијених путем камере, дошло се до најбољег уклапања за израз $\tau=4,1 \times 10^9 \text{ l}^2$, при чему l износи 9-12 микрометара. На основу овога јасно је да се време оријентације креће у домену неколико десетина милисекунди, што је далеко дуже од времена које је Тегмарк добио путем своје релације.

Овај временски интервал може одговарати и γ таласу, који би такође могао бити талас одговоран за појаву свести, јер он сваких 25 милисекунди скенира мождану површину у фронто-окципиталном смеру вршећи декохеренцију суперпонираних стања, под претпоставком квантне природе свести.

Опсервацијом од стране свесног посматрача настају промене у спољашњем свету, што је близак сарадник Нилса Бора, Пасквал Џордан (енг. *Pascual Jordan*) описао речима: “Ми сами продукујемо резултате мерења”. Вилер је као творац партиципационог антропичког принципа отишао корак даље, тврдећи да су жива бића која имају могућност опажања трансформисала гомилу могућих квантних догађаја у једну конкретну историју, закључивши да су они партиципирани у историји универзума од његовог почетка. Све ово потврђује да свест заиста узрокује колапс таласне функције.

VI

Закључци

У извршеној студији дошло се до следећих закључака:

1. У присуству свесног посматрача у стању дуге фокусиране пажње индукује се колапс таласне функције електромагнетног таласа, што је доказано мерењем параметара корпускуларности, контраста, интерференције, количника електричног поља, Хајзенбергове неодређености и степена квантне повезаности у експерименталној групи субјеката у стању концентрисане пажње.
2. У интерактивном пољу брзих измена свесне пажње током регистрације когнитивног евоцираног потенцијала долази до колапса таласне функције у три временска одсечка: 100, 300 и 1000 милисекунди.
3. У присуству субјекта у стању релаксиране пажње не долази до статистички значајних промена квантних параметара, па се према томе у релакс групи не индукује колапс таласне функције електромагнетног таласа.
4. Промене у Хајзенберговој неодређености најбоље се могу објаснити дејством електричног Ахаронов-Бомовог ефекта когнитивног потенцијала П300, што је и доказано у експерименталној групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала, где су израчунате вредности Z скорa фазних разлика у две ЕЕГ деривације.
5. Степен квантне повезаности био је статистички значајан у свим групама, осим у релакс групи, указујући да је остварена не само већа повезаност између фотона на дифракционој решетки, већ и заплетеност између неуронског и спољашњег физичко-оптичког квантног система. Ова повезаност рефлектује промене у неуронском систему на оптички систем, што отвара могућност за индиректну детекцију ових промена преко *double-slit* оптичког система.
6. Сигнификантне промене квантних параметара оптичког система показале су да је свесна пажња била највећа у трећој секунди након добијања вокалне команде за почетак фокусирања пажње, што одговара времену достигања првог амплитудног минимума ЕЕГ сигнала δ , θ и α ритма на *Haar*-овом дијаграму у четири ЕЕГ деривације.
7. Статистички сигнификантан колапс таласне функције настао током првих 100 милисекунди у експерименталној групи са регистрацијом когнитивног евоцираног потенцијала, указује на *backward time referral* ефекат потенцијала П300, што је индиректно и доказано мерењима квантних параметара у оптичком *double-slit* систему. Овај резултат потврђује тачност Либетових ставова.

8. Хајзенбергова неодређеност се сигнификантно смањује у присуству активне свесне пажње, док се истовремено ентропија ЕЕГ сигнала повећава.
9. Пораст количине информација изражен посредством повећане ентропије, повећава и прецизност мерења од стране фокусираног субјекта (по Кинкедовој релацији број 17), док се конкомитантно у физичком систему смањује интерференција електромагнетног таласа након проласка кроз *double-slit* решетку, указујући на колапс таласне функције. Ово доказује да ефекат посматрача (*observer effect*) одговара субјекту у стању фокусиране пажње.

VII

Литература

1. Young T. The Bakerian Lecture: Experiments and Calculations Relative to Physical Optics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.1804; 94(0): 1-16.
2. The double-slit experiment. *Physics World*.2002; 15(9):15-15.
3. Bach, R., Pope, D., Liou, S-H., & Batelaan, H. (2013). Controlled double-slit electron diffraction. *New Journal of Physics*, 15, [033018]. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/15/3/033018>
4. Davisson, C., & Germer, L. (1928). Reflection of Electrons by a Crystal of Nickel. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 14(4), 317-322. doi: 10.1073/pnas.14.4.317
5. Frabboni S, Gazzadi GC, Pozzi G. Young's double-slit interference experiment with electrons. *Am. J. Phys.* 2007;75:1053–1055. doi: 10.1119/1.2757621.
6. Weinert, F. (1970, January 1). Davisson-Germer Experiment. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-70626-7_45.
7. Epstein, P. S., & Ehrenfest, P. (1924). The Quantum Theory of the Fraunhofer Diffraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 10(4), 133–139. doi: 10.1073/pnas.10.4.133
8. Aharonov, Y., Cohen, E., Colombo, F., Landsberger, T., Sabadini, I., Struppa, D. Tollaksen, J., 2017. *Finally making sense of the double-slit experiment*. P. Natl. Acad. Sci. Usa. 114(25), 6480-6485. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704649114>
9. Crease, R.P., 2002. *The most beautiful experiment*. *Phys. World*. 15(5), 17. <https://doi.org/10.1088/2058-7058/15/5/23>
10. Feynman RP, Leighton RB, Sands ML. The Feynman lectures on physics. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co; 1963. [[Google Scholar](#)]
11. Frank, H. H. (1964). The Feynman Lectures of Physics. Richard P. Feynman. Robert B. Leighton and Matthew Sands, Eds. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1963. Unpaged. Illus. \$8.75. *Science*, 144(3616), 280–280. doi: 10.1126/science.144.3616.280
12. Casati, G., & Prosen, T. (2005). Quantum chaos and the double-slit experiment. *Physical Review A*, 72(3). doi: 10.1103/physreva.72.032111
13. Riendeau, D. (2009). Quantum Double-Slit Experiment. *The Physics Teacher*, 47(5), 317-317. doi: 10.1119/1.3116851
14. Ozer, Z., Chaluvadi, H., Ulu, M., Dogan, M., Aktas, B., & Madison, D. (2014). Young Double Slit Interference Effects at Quantum Level. *Journal Of Physics: Conference Series*, 488(1), 012059. doi: 10.1088/1742-6596/488/1/012059

15. Wootters, W. K., & Zurek, W. H. (1979). Complementarity in the double-slit experiment: Quantum nonseparability and a quantitative statement of Bohrs principle. *Physical Review D*, 19(2), 473–484. doi: 10.1103/physrevd.19.473
16. Busch, P., & Shilladay, C. (2006). Complementarity and uncertainty in Mach–Zehnder interferometry and beyond. *Physics Reports*, 435(1), 1–31. doi: 10.1016/j.physrep.2006.09.001
17. Englert, B. (1996). Fringe Visibility and Which-Way Information: An Inequality. *Physical Review Letters*, 77(11), 2154–2157. doi: 10.1103/physrevlett.77.2154
18. Wiseman, H. (2003). Directly observing momentum transfer in twin-slit “which-way” experiments. *Physics Letters A*, 311(4-5), 285–291. doi: 10.1016/s0375-9601(03)00504-8
19. Englert, B., Scully, M., & Walther, H. (1995). Complementarity and uncertainty. *Nature*, 375(6530), 367–368. doi: 10.1038/375367b0
20. Dressel, J., Bliokh, K., & Nori, F. (2014). Classical Field Approach to Quantum Weak Measurements. *Physical Review Letters*, 112(11). doi: 10.1103/physrevlett.112.110407
21. Radin, D., Michel, L., Johnston, J., Delorme, A., 2013. *Psychophysical interactions with a double-slit interference pattern*. *Physics. Essays*. 26(4), 553–566.
22. Radin, D., Michel, L., Galdamez, K., Wendland, P., Rickenbach, R., & Delorme, A. (2012). Consciousness and the double-slit interference pattern: Six experiments. *Physics Essays*, 25(2), 157–171. doi: 10.4006/0836-1398-25.2.157
23. Radin, D., Nelson, R., 1989. *Evidence for consciousness-related anomalies in random physical systems*. *Found. Phys.* 19(12), 1499–1514. <https://doi.org/10.1007/BF00732509>
24. Radin, D., Michel, L., & Delorme, A. (2016). Psychophysical modulation of fringe visibility in a distant double-slit optical system. *Physics Essays*, 29(1), 14–22. doi: 10.4006/0836-1398-29.1.014
25. Radin, D., Michel, L., & Delorme, A. (2015). Reassessment of an independent verification of psychophysical interactions with a double-slit interference pattern. *Physics Essays*, 28(4), 415–416. doi: 10.4006/0836-1398-28.4.415
26. Guerrer, G. (2019). Consciousness-related interactions in a double-slit optical system. Retrieved 9 August 2019, from <https://osf.io/qdkvx/#!>
27. Alsing, P., & Fuentes, I. (2012). Observer-dependent entanglement. *Classical And Quantum Gravity*, 29(22), 224001. doi: 10.1088/0264-9381/29/22/224001
28. Koçaslan, G. (2014). Quantum Interpretation to Decision Making Under Risk: The Observer Effect In Allais Paradox. *NeuroQuantology*, 12(3). doi: 10.14704/nq.2014.12.3.776

29. Miao, Z., & James, M. R. (2012). Quantum observer for linear quantum stochastic systems. *2012 IEEE 51st IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*. doi: 10.1109/cdc.2012.6426181
30. Chuprikov, N. L. (2012). Two-slit experiment and wave-particle duality. doi: 10.1063/1.3688950
31. Mittelstaedt, P. (1992). Unsharp Particle—Wave Duality in Double-Slit Experiments. *Wave-Particle Duality*, 169–186. doi: 10.1007/978-1-4615-3332-0_10
32. (2016). Modified double-slit experiment suggests possibility of hidden variables. *Physics Today*. doi: 10.1063/pt.5.029593
33. Kumar, D. (1998). Quantum theory of double-slit interference: Role of the quantum phase. *Physics Letters A*, 246(5), 394–398. doi: 10.1016/s0375-9601(98)00432-0
34. Plotnitsky, A. (2009). Quantum Phenomena and the Double-Slit Experiment. *Epistemology and Probability*, 45–75. doi: 10.1007/978-0-387-85334-5_2
35. Kincaid, J., Mclelland, K., & Zwolak, M. (2016). Measurement-induced decoherence and information in double-slit interference. *American Journal of Physics*, 84(7), 522–530. doi: 10.1119/1.4943585
36. Hameroff, S., & Penrose, R. (2007). Conscious Events as Orchestrated Space-Time Selections. *NeuroQuantology*, 1(1). doi:10.14704/nq.2003.1.1.3
37. Stuart, H. (1998). Quantum computation in brain microtubules? The Penrose–Hameroff ‘Orch OR’ model of consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 356(1743), 1869–1896. doi: 10.1098/rsta.1998.0254
38. Cavanna, A. E., & Nani, A. (2014). Roger Penrose and Stuart Hameroff. *Consciousness*, 157–161. doi: 10.1007/978-3-662-44088-9_27
39. Frixione, E. (2014). Consciousness and Neuronal Microtubules: The Penrose-Hameroff Quantum Model in Retrospect. *History, Philosophy and Theory of the Life Sciences Brain, Mind and Consciousness in the History of Neuroscience*, 303–331. doi: 10.1007/978-94-017-8774-1_16
40. Klaers, J., & Weitz, M. (2013). Bose–Einstein condensation of photons. *Novel Superfluids*, 376–397. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199585915.003.0006
41. Stanzione, M. (1991). ROGER PENROSE, The Emperors New Mind. Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics, Oxford, Oxford University Press, 1989. *Nuncius*, 6(1), 269–272. doi: 10.1163/182539191x00371

42. Gardiner, J., Overall, R., & Marc, J. (2010). The microtubule cytoskeleton acts as a key downstream effector of neurotransmitter signaling. *Synapse*, 65(3), 249–256. doi: 10.1002/syn.20841
43. Tegmark, M. (2000). Importance of quantum decoherence in brain processes. *Physical Review E*, 61(4), 4194–4206. doi: 10.1103/physreve.61.4194
44. Rosa, L. P., & Faber, J. (2004). Quantum models of the mind: Are they compatible with environment decoherence? *Physical Review E*, 70(3). doi: 10.1103/physreve.70.031902
45. Ferreira, W. D. (2010). The Role of the Observer in the Collapse of the Wave Function: A Cognitive and Linguistic Analysis of the Double Slits Experiment. *NeuroQuantology*, 9(1). doi:10.14704/nq.2011.9.1.347
46. Naschie, M. S. E. (2011). Quantum Entanglement as a Consequence of a Cantorian Micro Spacetime Geometry. *Journal of Quantum Information Science*, 01(02), 50–53. doi: 10.4236/jqis.2011.12007
47. Rab, A. S., Polino, E., Man, Z.-X., An, N. B., Xia, Y.-J., Spagnolo, N., ... Sciarrino, F. (2017). Entanglement of photons in their dual wave-particle nature. *Nature Communications*, 8(1). doi: 10.1038/s41467-017-01058-6
48. Sciara, S., Franco, R. L., & Compagno, G. (2017). Universality of Schmidt decomposition and particle identity. *Scientific Reports*, 7(1). doi: 10.1038/srep44675
49. Ekert A, Knight PL. Entangled quantum systems and the Schmidt decomposition. *Amer. J. Phys.* 1995;63:415–423. doi: 10.1119/1.17904.
50. Martienssen, W. (2005). Mohamed El Naschie and the geometrical interpretation of quantum physics. *Chaos, Solitons & Fractals*, 25(4), 805–806. doi: 10.1016/j.chaos.2005.02.001
51. Hardy, L. (1993). Nonlocality for two particles without inequalities for almost all entangled states. *Physical Review Letters*, 71(11), 1665–1668. doi: 10.1103/physrevlett.71.1665
52. Naschie, M. S. E., Olsen, S., He, J. H., Nada, S., Marek-Crnjac, L., & Helal, A. (2012). On the Need for Fractal Logic in High Energy Quantum Physics. *International Journal of Modern Nonlinear Theory and Application*, 01(03), 84–92. doi: 10.4236/ijmnta.2012.13012
53. Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. doi: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
54. Asadi, M., Ebrahimi, N., & Soofi, E. S. (2017). Shannon Entropy Measures. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 1–8. doi: 10.1002/9781118445112.stat07920

55. Goldberger, A. (2019). *Chaos and Fractals in Human Physiology*. [online] Eric.ed.gov. Available at: <https://eric.ed.gov/?id=EJ409296> [Accessed 31 Aug. 2019].
56. E. N. Lorenz, "Deterministic Nonperiodic Flow," *Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 20, No. 2, 1963, pp. 130- 141. doi:10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2
57. Schiff, S.J., Sauer, T. and Chang, T. 1994. Discriminating deterministic versus stochastic dynamics in neuronal activity. *Integrative Physiological and Behavioral Science* **29**: In press
58. Skinner, J.E., Mitra, M., & Fulton, K. (1991b). Low-dimensional chaos in a simple biological model of neocortex: Implications for cardiovascular and cognitive disorders. In J.G. Carlson, & A.R. Seifert (Eds.), *An international perspective on self-regulation and health* (pp. 95–117). New York: Plenum.
59. Skinner, J.E., Martin, J.L., Landisman, C.E., Mommer, M.M., Fulton, K., Mitra, M., Burton, W.D., & Saltzberg, B. (1990b). Chaotic attractors in a model of neocortex: Dimensionalities of olfactory bulb surface potentials are spatially uniform and event related. In E. Basar (Ed.), *Chaos in brain function* (pp. 119–134). New York: Springer-Verlag.
60. Babloyantz A. (1986) Evidence of Chaotic Dynamics of Brain Activity During the Sleep Cycle. In: Mayer-Kress G. (eds) Dimensions and Entropies in Chaotic Systems. Springer Series in Synergetics, vol 32. Springer, Berlin, Heidelberg
61. Eckmann JP, Kamphorst SO, Ruelle D, Ciliberto S (1986) Lyapunov exponents from time series. *Phys Rev A* 34:4971–4979
62. Bob, P. (2007). Chaos, brain and divided consciousness. *Acta Universitatis Carolinae—Medica—Monographia*, 153, 9–80.
63. Georgalis, N. (2000). Mind, Brain, and Chaos. *The Caldron of Consciousness Advances in Consciousness Research*, 179–201. doi: 10.1075/aicr.16.13geo
64. Guglielmi, N., & Protasov, V. (2016). Computing Lyapunov exponents of switching systems. doi: 10.1063/1.4951750
65. Pritchard, W. S., & Duke, D. W. (1992). Dimensional Analysis of No-Task Human EEG Using the Grassberger-Procaccia Method. *Psychophysiology*, 29(2), 182–192. doi: 10.1111/j.1469-8986.1992.tb01683.x
66. Shirouzu, S., Tsuda, Y., Sugano, H., & Inoue, M. (1999). Nonlinear Analysis of Task and Resting Human EEG. *PsycEXTRA Dataset*. doi: 10.1037/e630392011-001

67. Lacasa, L., & Gómez-Gardeñes, J. (2014). Analytical estimation of the correlation dimension of integer lattices. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 24(4), 043101. doi: 10.1063/1.4896332
68. Gottlieb, J. (2012). Attention, Learning, and the Value of Information. *Neuron*, 76(2), 281–295. doi: 10.1016/j.neuron.2012.09.034
69. Bisley, J. W., & Goldberg, M. E. (2010). Attention, Intention, and Priority in the Parietal Lobe. *Annual Review of Neuroscience*, 33(1), 1–21. doi: 10.1146/annurev-neuro-060909-152823
70. Moran, J., & Desimone, R. (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science*, 229(4715), 782–784. doi: 10.1126/science.4023713
71. Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(3), 849–860. doi: 10.1037//0096-1523.18.3.849
72. Boxtel, J. J. A. V., Tsuchiya, N., & Koch, C. (2010). Consciousness and Attention: On Sufficiency and Necessity. *Frontiers in Psychology*, 1. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00217
73. Breitmeyer, B. G., Kiefer, M., & Niedeggen, M. (2015). Exploring the visual (un)conscious. *Consciousness and Cognition*, 35, 178–184. doi: 10.1016/j.concog.2015.04.021
74. Lo, S.-Y. (2017). Attention without awareness: Attentional modulation of perceptual grouping without awareness. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 80(3), 691–701. doi: 10.3758/s13414-017-1474-7
75. Picton, T. W. (1992). The P300 Wave of the Human Event-Related Potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9(4), 456–479. doi: 10.1097/00004691-199210000-00002
76. Rutiku, R., Martin, M., Bachmann, T., & Aru, J. (2015). Does the P300 reflect conscious perception or its consequences? *Neuroscience*, 298, 180–189. doi: 10.1016/j.neuroscience.2015.04.029
77. Stelmack, R., & Sculthorpe, L. (2008). Mental ability and individual differences in P300 and mismatch negativity. *International Journal of Psychophysiology*, 69(3), 158. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2008.05.402
78. Escera C, Alho K, Schröger E, Winkler I. Involuntary attention and distractibility as evaluated with event-related brain potentials. *Audiology and Neuro-Otology*. 2000;5:151–166. <http://dx.doi.org/10.1159/000013877>.

79. Azizian A, Freitas AL, Watson TD, Squires NK. Electrophysiological correlates of categorization: P300 amplitude as index of target similarity. *Biological Psychology*. 2006;71:278–288. <http://doi:10.1016/j.biopsycho.2005.05.002>.
80. Libet, B., Alberts, W. W., Wright, E. W., Delattre, L. D., Levin, G., & Feinstein, B. (1993). Production of Threshold Levels of Conscious Sensation by Electrical Stimulation of Human Somatosensory Cortex. *Neurophysiology of Consciousness*, 1-34. doi:10.1007/978-1-4612-0355-1_1
81. Libet, B. (2007). The Neural Time Factor in Conscious and Unconscious Events. *Novartis Foundation Symposia Ciba Foundation Symposium 174 - Experimental and Theoretical Studies of Consciousness*, 123–146. doi: 10.1002/9780470514412.ch7
82. Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., & Pearl, D. K. (1993). Time of Conscious Intention to Act in Relation to Onset of Cerebral Activity (Readiness-Potential). *Neurophysiology of Consciousness*, 249–268. doi: 10.1007/978-1-4612-0355-1_15
83. Morlet, D., Ruby, P., André-Obadia, N., & Fischer, C. (2017). The auditory oddball paradigm revised to improve bedside detection of consciousness in behaviorally unresponsive patients. *Psychophysiology*, 54(11), 1644–1662. doi: 10.1111/psyp.12954
84. Dodds, S., 1990. *An optical diffraction experiment for the advanced laboratory*. *Am. J. Phys.* 58(7), 663-668. <https://doi.org/10.1119/1.16429>
85. Nuwer, M. R. (2018). 10-10 electrode system for EEG recording. *Clinical Neurophysiology*, 129(5), 1103. doi: 10.1016/j.clinph.2018.01.065
86. Acharya, J., Hani, A., Thirumala, P., Tsuchida, T., 2016. *American Clinical Neurophysiology Society Guideline 3: A Proposal for Standard Montages to Be Used in Clinical EEG*. *J. Clin. Neurophysiol.* 33(4), 312–316.
87. Naschie, M. E. (1994). Young double-slit experiment, Heisenberg uncertainty principle and Cantorian space-time. *Chaos, Solitons & Fractals*, 4(3), 403–409.
88. Beck, G., & Nussenzveig, H. M. (1958). Uncertainty relation and diffraction by a slit. *Il Nuovo Cimento*, 8(S2), 1068–1076. doi: 10.1007/bf02838270
89. Qureshi, T., 2013. *Quantum twist to complementarity: A duality relation*. *Prog. Theor. Exp. Phys.* 2013(4), 041A01 <https://doi.org/10.1093/ptep/ptt022>
90. Deco, G., Rolls, E. T., & Romo, R. (2009). Stochastic dynamics as a principle of brain function. *Progress in Neurobiology*, 88(1), 1–16. doi: 10.1016/j.pneurobio.2009.01.006
91. Deco, G., Jirsa, V. K., Robinson, P. A., Breakspear, M., & Friston, K. (2008). The Dynamic Brain: From Spiking Neurons to Neural Masses and Cortical Fields. *PLoS Computational Biology*, 4(8). doi: 10.1371/journal.pcbi.1000092

92. Deco, G., & Jirsa, V. K. (2012). Ongoing Cortical Activity at Rest: Criticality, Multistability, and Ghost Attractors. *Journal of Neuroscience*, *32*(10), 3366–3375. doi: 10.1523/jneurosci.2523-11.2012
93. Clarke, P. G. (2014). Neuroscience, quantum indeterminism and the Cartesian soul. *Brain and Cognition*, *84*(1), 109–117. doi: 10.1016/j.bandc.2013.11.008
94. Desmedt, J. E., & Tomberg, C. (1994). Transient phase-locking of 40 Hz electrical oscillations in prefrontal and parietal human cortex reflects the process of conscious somatic perception. *Neuroscience Letters*, *168*(1-2), 126–129. doi: 10.1016/0304-3940(94)90432-4
95. Doesburg, S. M., Green, J. J., McDonald, J. J., & Ward, L. M. (2009). Rhythms of Consciousness: Binocular Rivalry Reveals Large-Scale Oscillatory Network Dynamics Mediating Visual Perception. *PLoS ONE*, *4*(7). doi: 10.1371/journal.pone.0006142
96. Crick, F., & Koch, C. (2007). A Neurobiological Framework for Consciousness. *The Blackwell Companion to Consciousness*, 567–579. doi: 10.1002/9780470751466.ch45
97. Busemeyer, J. R., & Wang, Z. (2014). Quantum Cognition: Key Issues and Discussion. *Topics in Cognitive Science*, *6*(1), 43–46. doi: 10.1111/tops.12074
98. Jedlicka, P. (2017). Revisiting the Quantum Brain Hypothesis: Toward Quantum (Neuro)biology? *Frontiers in Molecular Neuroscience*, *10*. doi: 10.3389/fnmol.2017.00366
99. Engel, G. S., Calhoun, T. R., Read, E. L., Ahn, T.-K., Mančal, T., Cheng, Y.-C., ... Fleming, G. R. (2007). Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems. *Nature*, *446*(7137), 782–786. doi: 10.1038/nature05678
100. Lee, H., Cheng, Y.-C., & Fleming, G. R. (2007). Coherence Dynamics in Photosynthesis: Protein Protection of Excitonic Coherence. *Science*, *316*(5830), 1462–1465. doi: 10.1126/science.1142188
101. Panitchayangkoon, G., Hayes, D., Fransted, K. A., Caram, J. R., Harel, E., Wen, J., ... Engel, G. S. (2010). Long-lived quantum coherence in photosynthetic complexes at physiological temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(29), 12766–12770. doi: 10.1073/pnas.1005484107
102. Lochak, G. (1984). De Broglie's Initial Conception of De Broglie Waves. *The Wave-Particle Dualism*, 1–25. doi: 10.1007/978-94-009-6286-6_1
103. Alexander, J. E., & Polich, J. (1997). Handedness and P300 from Auditory Stimuli. *Brain and Cognition*, *35*(2), 259–270. doi: 10.1006/brcg.1997.0941

104. Minoura, I., & Muto, E. (2006). Dielectric Measurement of Individual Microtubules Using the Electroorientation Method. *Biophysical Journal*, 90(10), 3739–3748. doi: 10.1529/biophysj.105.071324

VIII

Прилози

БИОГРАФИЈА

Андреја Вујанац је рођен 31.10.1971. године у Новом Пазару, где је завршио основну и средњу школу.

Медицински факултет је завршио у Београду 2003. године.

Специјалистичке студије из дерматовенерологије завршио је у Београду 2011.

Ради у дерматовенеролошкој амбуланти Опште Болнице у Новом Пазару. Ожењен је и отац двоје деце.

Докторске студије у Крагујевцу, уписао је 2005. године, изборно подручје Експериментална и примењена физиологија са спортском медицином, и положио све предвиђене испите закључно са докторским испитом 2009.

БИБЛИОГРАФИЈА

1. **Vujanac A**, Srejovic I, Zivkovic V, Jeremic N, Jeremic J, Bolevich S, Bolevich S, Jakovljevic V. Quantum nature of consciousness - Double slit diffraction experiment in medicine. *Med Hypotheses*. 2019;133:109382. doi: 10.1016/j.mehy.2019.109382.
2. **Vujanac A**, Jakovljevic V, Djordjevic D, Zivkovic V, Stojkovic M, Celikovic D, Andjelkovic N, Skevin AJ, Djuric D. Nitroglycerine effects on portal vein mechanics and oxidative stress in portal hypertension. *World J Gastroenterol*. 2012 Jan 28;18(4):331-9. doi: 10.3748/wjg.v18.i4.331.
3. **Vujanac A**, Djoković V, Dabetic S, Detanac ADz. Patophysiological mechanism of pigmented purpuric dermatoses. *Sanamed*. 2013;8(2):159-167.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАТИКА

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ФАКУЛТЕТ МЕДИЦИНСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ

Редни број – РБ:

Идентификациони број – ИБР:

Тип документације – ТД: Монографска публикација

Тип записа – ТЗ: Текстуални штампани материјал

Врста рада – ВР: Докторска дисертација

Аутор – АУ: Андреја Вујанац

Ментор/коментор – МН: доц. др Иван Срејовић

Наслов рада – НР: Квантни ефекти свесне пажње на колапс функције електромагнетног таласа

Језик публикације – ЈП: српски/ћирилица

Језик извода – ЈИ: српски/енглески

Земља публикавања – ЗП: Република Србија

Уже географско подручје – УГП: Централна Србија

Година – ГО: 2019. година

Издавач – ИЗ: Ауторски репринт

Место и адреса – МС: 34 000 Крагујевац, Светозара Марковића 69, Република Србија

Физичи опис рада – ФО: 103 страна, 14 слика, 15 табела, 21 графикон

Научна област – УДК: Медицина

Научна дисциплина – ДИ: Физиологија

Предметна одредница/кључне речи – ПО: квантна повезаност, дифракција, свесна пажња

Чува се – ЧУ: У библиотеци Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу

Важна напомена – ВН:

Извод – ИД:

Увод: Квантни *double-slit* експеримент је ефекат посматрача на класичну Јунгову дифракцију. Колапс таласне функције подразумева редукцију суперпозиције стања функције електромагнетног таласа на једно стање дејством окружења. *Double-slit* експеримент се сматра за један од најлепших експеримената икада изведених.

Циљ: Доказати колапс таласне функције у интерактивном пољу фокусиране пажње мерењем одређених квантних параметара, као што су: корпускуларност, контраст, количник интензитета електричног поља, интензитет интерференције на графику спектралне снаге, квантна повезаност, Хајзенбергова неодређеност.

Материјал и методе: Експеримент се састоји од физичке и физиолошке поставке система. У физичком делу система вршила се регистрација зависних варијабли коришћењем линеарне *ccd* камере, док се у физиолошком систему обављала регистрација независних варијабли ради квантификације стања свесне пажње. Групе су подељене на контролну групу и три експерименталне групе: релакс група, група са субјектима у стању фокусиране пажње и група са субјектима у процедури регистрације когнитивног потенцијала П300, која је даље подељена на три подгрупе: Е100, Е300 и Е1000 према времену регистрације зависних варијабли. У експерименту је учествовало 26 субјеката, сва снимања су вршена током периода од 45 секунди током 10 независних студија односно сесија.

Резултати: Са изузетком групе са субјектима у стању релаксираних пажње, у свим осталим групама доказано је сигнификантно повећање корпускуларних особина електромагнетног таласа уз конкомитантно смањење интерференције и Хајзенбергове неодређености, као и пораст квантне заплетености између физичког и физиолошког квантног система у поређењу са резултатима у контролној групи. Фитовањем релације за јачину електричног поља на пукотинама дифракционе решетке показана је значајна промена у односу на контролну групу у свим експерименталним групама са изузетком релакс групе. Квантни параметри били су статистички сигнификантно измењени и током првих 100 милисекунди у процедури регистрације когнитивног потенцијала П300 доказујући *backward time referral* ефекат. Доказано је и дејство П300 потенцијала на вредности Бомове фазне разлике. Такође, у групи учесника у стању фокусиране пажње највећа промена квантних параметара регистрована је током прве три секунде од добијања вокалне команде за почетак концентрисања пажње. Независне варијабле показале су пораст ентропије и пораст детерминистичког хаоса.

Закључак: Дејством фокусиране пажње настаје колапс таласне функције, док значајна квантна повезаност указује на куплунг фотона, као и на спрегу физичког и неуронског квантног система. Доказана је и интервенција будућности на догађаје у прошлости. Промене вредности зависних варијабли рефлектују промене у неуронском квантном систему, тако да се оптички систем може користити за детекцију суптилних измена у свесној пажњи.

Кључне речи: квантна повезаност, дифракција, свесна пажња

Датум прихватања теме од стране ННВ – ДП: 30.05.2018.

Датум одбране – ДО:

Чланови комисије – КО:

1. **Академик проф. др Зоран Поповић**, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду за ужу научну област Физичка електроника, председник;
2. **Доц. др Јована Јоксимовић Јовић**, доцент Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Физиологија, члан;
3. **Проф. др Тихомир Илић**, редовни професор Медицинског факултета Војномедицинске академије Универзитета одбране у Београду за ужу научну област Неурологија, члан.

KEY WORDS DOCUMENTATION

UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC

FACULTY OF MEDICAL SCIENCES KRAGUJEVAC

Accession number – ANO:

Identification number – INO:

Documentation type – DT: Monographic publication

Type of record – TR: Textual printed material

Contents code – CC: Ph. D. Thesis

Author – AU: Andreja Vujanac

Menthor/co-mentor – MN: Assistant professor Ivan Srejović, M.D. Ph.D.

Title – TI: Quantum effects of conscious attention on the collapse of electromagnetic wave function

Language of text – LT: Serbian / Cyrillic

Language of abstract: Serbian / English

Country of publication – CP: Republic of Serbia

Locality of publication – LP: Central Serbia

Publication year – PY: 2019

Publisher – PU: Author reprint

Publication place – PP: 34 000 Kragujevac, Svetozara Markovica 69, Republic of Serbia

Physical description – PD: 103 pages, 14 picture, 15 tables, 21 charts

Scientific field – SF: Medicine

Scientific discipline – SD: Physiology

Subject/key words – SKW: quantum entanglement, diffraction, conscious attention

UDC:

Holding data: Library of Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, Republic of Serbia

Note – N:

Abstract – AB:

Introduction: A quantum double-slit experiment is an observer effect on classical Young diffraction. Wave function collapse occurs when a wave function in a superposition of several eigenstates reduces to a single eigenstate due to interaction with the external world. The double-slit experiment is considered one of the most beautiful experiments ever performed.

Aim: To prove the collapse of a wave function in an interactive field of focused conscious attention certain quantum parameters were measured, such as: corpuscularity, visibility, the ratio of the electric field intensity, magnitude of interference on power spectral density graph, quantum entanglement, Heisenberg uncertainty.

Material and methods: The experimental procedure was divided into the physical and physiological set-up. In the physical part of the system, registration of dependent variables was performed by using a linear *ccd* camera, while in the physiological system, registration of independent variables was performed to quantify the state of conscious attention. The groups were divided into a control group and three experimental groups: relaxed attention group, concentrated attention group, and group for evaluating cognitive evoked potential effect on the double-slit system, which was divided into three subgroups according to time point at which data was recorded-E100, E300 and E1000. Twenty-six subjects took part in the experiment, which underwent every second recording of diffraction pattern during 10 sessions, each of 45 seconds duration.

Results: With the exception of the group with subjects in the state of relaxed attention, in all other groups there was a significant increase in corpuscular properties of the electromagnetic wave with a concomitant decrease in interference and Heisenberg uncertainty, as well as an increase in quantum entanglement between the physical and physiological quantum system compared with the results in the control group. The electric field ratio, which was calculated by fitting a basic equation for double slit diffraction, with exception for the relax group, showed a significant change in all experimental groups compare to control group. The quantum parameters were statistically significantly altered during the first 100 milliseconds in the cognitive evoked potential P300 registration procedure, proving a backward time referral effect. The effect of P300 potential on the values of the Bohm phase difference has also been demonstrated. Also, in concentrated attention group, the largest change in quantum parameters was registered during the first three seconds after participants started to concentrate their attention. Independent variables showed an increase in entropy as well as increase in pattern behavior known as deterministic chaos.

Conclusions: This study confirmed that focused attention causes the collapse of the wave function, while significant quantum entanglement indicates photon coupling, as well as the entanglement of the physical and brain quantum systems. Backward time referral effect has also been proven. Changes in the values of dependent variables reflect changes in the brain quantum system, so that the optical system can be used to detect subtle changes in conscious attention.

Key words: quantum entanglement, diffraction, conscious attention

Accepted by the Scientific Board on – ASB: 30th May 2018.

Defended on – DE:

Thesis defended board (Degree/name/surname/title/faculty) – DB:

1. **Aademician Full Professor Zoran Popović**, Ph.D, School of Electrical Engeneering, University of Belgrade, scientific field Physical electronics, chairman;
2. **Assistant Professor Jovana Joksimović Jović**, M.D, Ph.D, Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, scientific field Physiology, member;
3. **Full Professor Tihomir Ilić**, M.D, Ph.D, Medical Faculty of the Military Medical Academy, University of Defence in Belgrade, scientific field Neurology, member.