

ÓÁË 543.54.084

*Á.Á. Áðàì èí, Ñ.Á. Ááçí í ñþè*

Ì áòàí èçì Ù èí áàðáí òí í ñòè yéàèòðí òèì è-áñèèò  
è yéàèòðí àèí àì è-áñèèò ì ðí òáññí á á yéàèòðí èèòàò

Èçááñòí òí, -òí ì ðè í àèí æáí èè áóñí èí -áñòí ò-  
í òáí ì òéý (Á×-ì òéý) á àèàí áçí í á ááñýòéí á è ñí-  
òáí Ì Áò ì í æàò í áàèþáàòóñý çí á-èòáèúí í á óáá-  
èè-áí èà ñéí ðí ñòè yéàèòðí òèì è-áñèèò ì ðí òáññí á  
[1-3]. Ýòí yáèáí èà ì í æí í òðáèòí áàòó èàè ýóóáèò  
ñéí áðáàòè-áñéí è èí áàðáí òí í ñòè yéàèòðí òèì è-  
-áñèèò è yéàèòðí àèí àì è-áñèèò ì ðí òáññí á á yéàè-  
òðí èèòàò.

Ì í í ýòèà «èí áàðáí òí í ñòó» ì ðí òáññí á í çí á-á-  
áò èò í áðáçòóáí óþ ñáýçú á ðáçòéúòàòá ñéèòí í áí  
ì ðí òáèáí èý í áñéí èúèèò áí èí í áóò ì ðí òáññí á áí  
áðáí áí è è ì ðí ñòðáí ñòáá. Èí áàðáí òí í ñòó áóòá-  
æááòñý á çàéí í ì áðí ì ì òí òí ýí ñòáá ñáýçè ì áæáò  
óáçàì è, -áñòí òáì è, ì í èýðèçàòéýì è, àì ì èèòáá-  
ì è ýòèò áí èí, á òáèæá á óí ðí èðí ááí èè óñòí è-è-  
áóò ì ðí òýæáí í óò í áóáèòá, èì áþóèò ñòðí áí  
òí òýáí -áí í í á ì ðí ñòðáí ñòááí í í á ñòðí áí èà.

Á ì áòáì áòè-áñéí è òáí ðèè èááí òí áí -ì í èááí è  
yéàèòðí àèí àì èèè ì áæáò ì í èáì çàðýæáí í í è  
ì èàçì Ù ááóáñòáà è yéàèòðí ááí èòí Ù ì í í èáì  
ñóóáñòáòá èàèèáðí áí -ì áý ñáýçú. Á òáðí ì í í èá-  
áí è àèí àì èèá [4] áóúí ì í èáçáí, -òí èí áàðáí òí í ñòó  
ì áæáò áí èí í áóò è ì í ááì è èááí òí áí -ì í èááí è ì èàç-  
ì Ù è áá èàèèáðí áí -ì í áí yéàèòðí ááí èòí Ù ì í í èý  
áí çí èèááò á ðáçòéúòàòá èí í ááí ñàòèè óí òí í í á  
á ì ðí òýæáí í óè í áí òí áí óè ñòáòè-áñèè è í áóáèò,  
í áèáááþóèè òí ì í èí àè-áñéí è í ñí ááí í ñòóþ  
á óèçè-áñéí ì ì ðí ñòðáí ñòáá. Èç ñí áèòðá áááòóèò  
áí èí ñáí áí áí áí yéàèòðí ááí èòí Ù ì í í èý áèèæá  
áñááí è óñéí áèýì í áí òí áí ñòè á ì ðí ñòðáí ñòáá  
è ñòáòè-ì í ñòè áí áðáí áí è ýáèýþòñý áí èí Ù á  
áèèí í áí èí í áí ì í èçéí -áñòí òí ì ì ðáááèá. Í áí á-  
éí ì áòáí èçì Ù í áðáçí ááí èý òí ì í èí àè-áñéí è í ñí-  
ááí í ñòè í áóáèòá á ì ðí ñòðáí ñòáá áèý ñáí áí áí -  
áí yéàèòðí ááí èòí Ù ì í í èý èáæáò áí á ááí çàéí í í á  
ááèæáí èý. Í í è ñí áàðæáòñý á çàéí í áò èááí òí áí áí  
ááèæáí èý èí ì í í áí ò ì èàçì Ù ááóáñòáà. Í í ýòí-  
ì ó í í ñòèò óáèèá ì áòáí èçì Ù ýáèýþòñý óèçèéí-  
òèì è-áñèèò è.

Á èááí òí áí -ì í èááí è òèì èè èí í ááí ñèðí ááí í í-  
áí ááóáñòáà [5, 6] ì í èáçáí, -òí í áðáçí ááí èà  
á ñáí áí áí ì yéàèòðí ááí èòí ì ì í í èá ñòáòè-á-  
ñéí è ì í áó ñ òí ì í èí àè-áñéí è í ñí ááí í ñòóþ á áèáá  
èèí èà àì ì èèòáóó ì í á çàì èí óòí è áðáí èòá óèí èò-  
í í è èí áæèè á óèçè-áñéí ì ì ðí ñòðáí ñòáá ì ðí èñ-  
òí áèò á ðáçòéúòàòá èí áàðáí òí í áí í áðáçí ááí èý  
áí óòè èí áæèè ðí ý yéàèòðí í í è ì èàçì Ù ááóá-  
ñòáá. Óáèè ì áðáçí ì, èí áàðáí òí í ñòó yéàèòðí òè-

ì è-áñéí áí è yéàèòðí àèí àì è-áñéí áí èí í áóò  
ì ðí òáññí á áí çí èèááò áí óòè èí áæèè èàè ðáçòéú-  
òáò èí í óáéí ì áí òá ì ðí òýæáí í í è í áí òí áí í è ñòá-  
òè-áñéí è ì í áó yéàèòðí ááí èòí Ù ì í í èý áí óòè  
ðí ý yéàèòðí í í è ì èàçì Ù yéàèòðí èèòá. ðí è -  
ýòí ñéèúí ì èí ðáèèèðí ááí í áý yéàèòðí í áý ì áðá  
ì èàçì Ù ááóáñòáà, èì áþóáý ñòáòèñòèéó Áí çá-  
Ýéí òðáéí á.

Èáè ì í èáçáí í á òáðí ì í í èááí è àèí àì èèá, òí -  
ì í èí àè-áñéí áí ñí ááí í ñòó ñòáí í áèòñý èèáññè-áñ-  
èèì í áóáèòá ì ðè èí í ááí ñàòèè áí ñòáòí -ì í áí èú-  
òí áí -èñèà èááí òí á yéàèòðí ááí èòí Ù ì í í èý.  
Áí çá-èí í ááí ñàò áèèí í í áí èí í áóò ì í á yéàèòðí -  
ì ááí èòí Ù ì í í èý ñòðí áí èí áàðáí òí í ñí áèáñóáò  
ááèæáí èà ì èèðí -áñòèò ì èàçì Ù (yéàèòðí í í á,  
èí í í á, áðí ì í á, ì í èáéóè) áí óòè èí áæèè. Ñí áèá-  
ñí ááí í óá yéàèòðí òèì è-áñèèá ì ðí òáññí èí áæèè  
ì òí í ñòñý è òèí ó èèí áí áòè-áñèèò áí èí ì í èí òí í ñ-  
òè. Í í è ñí áèáñòþò ááèæáí èà çàðýæáí í óò ì èè-  
ðí -áñòèò ì èàçì Ù ñ yéàèòðí àèí àì è-áñèèò è áèèí -  
ì í áí èí í áóò è ì í ááì è yéàèòðí ááí èòí Ù ì í í èý í á  
ì áçí - è ì áèðí ì áñòááí ì ì òðí áí ýò.

Ñéí áðáèçì yéàèòðí òèì è-áñèèò è yéàèòðí àè-  
í àì è-áñèèò ì ðí òáññí á. Á òáí ðáòè-áñéí è èí í óáí -  
òèè ì í í áí òðí áí ááí áí ñòðí áí èý ááóáñòáà áòí Ù  
è yéàèòðí ì á èí í ááí ñèðí ááí í í è ñòááá ì í áóò  
ì ðèí èì áòó ó-áñòèá í á òí èúéí á èááí òí áí -ì áòá-  
í è-áñéí ááèæáí èè, í í è á ááèæáí èè ì áèðí ñéí-  
ì è-áñéí (áèáðí àèí àì è-áñéí) ì í ñòè è á òí æá  
áðáí ý í á òáðýþóáì ñáí èò èááí òí áóò ñáí èñòá í á  
ì áçí óðí áí á ì óéúòè-áñòèò. Í òèè-èòáèúí áý -áð-  
òá èí èèáèòéáí í áí ááèæáí èý - ñòðí ááý ñí áèáñí -  
ááí í ñòó (èí áàðáí òí í ñòó) ááèæáí èý ì óááèúí óò  
ì èèðí -áñòèò. Èáè óæá í òí á-áí í áóòá, ýòè áí è-  
í Ù ñí áèáñí ááí í í áí ááèæáí èý ì èèðí -áñòèò í á  
ì áçí - è ì áèðí óðí áí ýò í áðáçòþò ì ñí áóè èèáññ  
èèí áí áòè-áñèèò áí èí ì í èí òí í ñòè. Á ì áòáì áòèèá  
ýòè áí èí Ù ì ðèì áí ýþòñý áèý ì í èñáí èý óáèèò òè-  
ì í á ì áèðí ñéí ì è-áñèèò ááèæáí èè, èàè ì ðèèèá-  
í óá áí èí Ù, «áí èí Ù» òðáí ñí í ðòá í á áí òí ááò. Í áí è  
áóè ì ðèì áí áí ñí í óááòñòáòþóèè ì áòáì áòè-áñ-  
èèè áí í áðáò áèý ì í èñáí èý èí áàðáí òí í áí ááèæá-  
í èý ì èàçì Ù ááóáñòáà á ì í èá èèáññè-áñèèò èí í -  
ááí ñàòá á èèí í í áí èí í áóò óí òí í í á, çàì áðòóò  
á èí áæèýò ðáçèè-ì í è ì ðí òýæáí í ñòè.

Ì ðáááèúí óò óí ðí ì ðí òýæáí í ñòè yéàèòðí í -  
í óò èí áæèè á èááí òí áí -ì í èááí è òèì èè -áòóðá:  
òí -á-í óá, èèí áéí óá, ì í áàððí í ñòí óá è í áóáì -

ί ύά. Τί έ ύαέύποήύ άί άείάάί έ όίίί έί άε-άνέοό ή ήί άάί ί ή ήάέ όίίίί ύό ή ήά έ έέήόάέέάο, ή ήό-άάόήάάί ί ή άάεί ή έέ, άέήέ έάόέέ, άάάί έό άάάά-έά όάç έ ή άάί ήά έέήόάέέέόί ά, έί όί άύά άάάάί ύ ά άάί έάό άάό ή ή ήέάάί έ έέ άί έέέ. Τί όί ήόάί ήάάί - ί ύά όί όί ύ ύέάέόόί ί ύό έί άάέέ ή ή όί άέάποήύ έί ή άάί ήάόάέ ί ά όί ή ή ήά, ά όί όί ή ήά άέέί ή ή-άί έί ή ή ή ή άάάάέά ύέάέόόί ή άάί έόί ή ή ή ήύ. Άάέί ή, -όί άέέί ή ή ή έί ή άύά ή ή άύ ύέάέόόί άά-ί έόί ή ή ή ήύ άçάέί ή άέήόάόπο όί έύέί ή όί άάί έ έί ή ή ή ή άί έέ ύέάέόόί ή ή έέ ή έάçί ύ, ή ή άάάάέύύ ύόόάέόύ ή άçί - έ ή άέόί ή έί έ-άήέί έ έί άάάάί όί ή ή-ήέ ή όί όάή ή ά άάύάήά.

Τί όέ ή άέ-έέ ά ή έάçί ά ή άύάί ί ύό ή άέόί ή έ-ήέ-άήέόό ή ήά ή άάάί ή ήά çäýää ά ή çí έέάό ή άέόί-ήέί ή-άήέέέ όί έ. Ά ή έçέί -άήόί όί ή ή άάάάέά ή άάάό άάό ή ύ ή άέόί ή έί έ-άήέέί έ ή άύάέόάί έ: ύέάέόόί ή άάί έόί ύ ή ή έάί έ ή ή έάί ή άέόί ή έί έ-άήέί ή ή όί έά ή έάçί ύ - ά ή çí έέάό έί άάάάί όί ή ήόύ, ή ή έήύάάάί άύ όάάί ά ή έύ ή έ ή έάήάέέά. Τί ή ύόί ό ύόόάέόύ ή άέόί ή έί έ-άήέί έ έί άάάάί όί ή ήέ ύέάέ-όόί όέί έ-άήέί ή ή όί όάή ή ή άάάάί έύ çäýääί - ί ύό έί ή ή ή άί ό άάήό ή άά ύέάέόόί έέόά έ ή ή ά-άέ ί ά ή άάί ή έçέί -άήόί όί ή ή ή έί όή έάάέύ ή ή ύέάέ-όόί ή άάί έόί ή ή ή ήύ ή -άήόί άάί έ άçááόόέέ, έάάά-ύέ ή ά çáóéί ή ή ή έάί άçί ή ά, ά ή έάέ ύ ά ή çí έέάό ή çäýää έέ όάάί ά ή έέ ή έάήάέέά ά όά ή ή ά ή ή έ έ-άήέέό όέçééί -όέί έ-άήέέό ή ή άάέύό ή άέόί ή έί έ-άήέί ή ή όί έά çäýää ά ή όόόέ ύ-άέέέ. Ά ή έό çáéí-άάί ή άάάί έçί άçί ή ά ή ήά όί έί ή ή ή ή άάάάέάί ί ύό -άήόί άάό ύέάέόόί ή άάί έόί ή ή ή ήύ, άάέ έάέ ύέάέ-όόί όέί έ-άήέάύ ή ή ήάά ή έ ή άάό ή άέόί ή έί έ-άή-ήέά ή ή έήόάά ά ή έί ήέ, έί άόέόάί ή ήέ έ όί.

Δάή ή ήόέί ή ή άάί άά άύ άάάάέ-άήέέά ή ή ήό-ί ή άάί έύ ή ή έ έί άάάάί όί ή ή ή ή έάή ή άά έέ ύέάέ-όόί όέί έ-άήέέό έ ύέάέόόί άέί ά έ-άήέέό ή όί όάή-ή ή ά ή όόόέ έάáçέύέάέόόί ή ή έέ έί άάέέ ή ή ήάάί ή ή ά ή çí ή ά ύέάέόόί ή ή έέ ή έάçί ύ άάύάήά. Έç ή ή ήό-ί ή ήάί έύ çáéí ή ή ήόάί ά ή έύ ή ή άάέέ άέύ έί ή άάί-ήάόέά έ έόά-άήέί έ έί άάέέ ή άέέί ή έ άάάά άάάά όί ή ή ή ά ύέάέόόί ή ή έέ ή άάί ή ή ήύ ή ή άάί άέί ή ή, -όί άύ ύέάέόόί ή ή έέ ή άάί έ άύέά ή ή έέ ή άάί ή ή ά-άέύ ή ά ή άύάάύ, -ά ή ή άάάέύ όέόέόάόέέ çäýää έάáçέύέάέόόί ή ά E<sub>m0</sub>:

$$E_{m0} = 3\hbar^2 / (8m_e L_m^2) \tag{1}$$

Τί ή çáéí ή ή ήόάί ά ή έύ ή ή άάάέ ύάά ή ή άάάέύ ή άέί ή έάί ά çá ή-άό έί ή άάί ήάόέέ ά έί άάέέ N<sub>λ</sub> άέέί-ή ή ή έί ή ή άύό (λ >> L<sub>m</sub>) όί όί ή ήά ή ή ή άάάέέ έάά ή άά ή ή/λ. Τί ή ύόί ό έί άά ή όάάί ά ή έά, ή ή έήύάάύάά όήέί άέύ έί άάάάί όί ή έέ έί ή άάί ήάόέέ:

$$N_\lambda \hbar / \lambda = 3\hbar^2 / (8m_e L_m^2) \tag{2}$$

Έç όάάί ά ή έύ (3) ή άάόάί ή ή ήέό-έού ή ή ή ή ή-όάί έά άέύ έέί άέί ή ή άçί άάά έί άάέέ:

$$L_m = (3/8)^{1/2} \cdot (\hbar / m_e c)^{1/2} \cdot (\lambda / N_\lambda)^{1/2} \tag{3}$$

Έç ή ήέό-άί ή ή ή ή ή ή ή ή έύ άέάί ή, -όί ήό-ύάήόάό ή όύ ή άύ έί όί άάάύ çááéήέί ή ήόύ ή όέ-έέ ή ύ ά ή έί ύ ύέάέόόί ή άάί έόί ή ή ή ήύ έ ή άάάόί άύ

έί όί άάάύ çááéήέί ή ήόύ ή ό N<sub>λ</sub> -έήέά çáóáá-άί ή ύό ά έί ή άάί ήάό έί άάέέ όί όί ή ήά.

Çáí άέέί, -όί όί όί όέά (3) ή ή έήύάάάό έί άάάάί ό-ί όρ έί ή άάί ήάέρ ύέάέόόί ή άάί έόί ή ή ή ή έύ ά έί ά-άέέ ύέάέόόί έέόά ά όήέί άέύό άέέί ή ή ή έί ή ή ή ή ή άάάάέά (λ >> L<sub>m</sub>). Άάί άύ άέέί ό έί ή ή ή ή ά ύέάέ-όόί ή ά λμ = ħ / (m<sub>e</sub> c) ά όί όί όέό (3) όήέί άέύ άέέί ή ή-άί έί ή ή ή ή ή άάάάέά έί άάάάί όί ή έέ έί ή άάί ήάόέέ ή ή έέ ή ή άάάί έήάόύ ά άέά:

$$L_m = (3/8)^{1/2} \cdot (\lambda / N_\lambda)^{1/2} \tag{4}$$

$$\lambda >> (3/8)^{3/8} \cdot (\lambda / N_\lambda) \tag{5}$$

Άέάί ή, -όί ή όέ çáóááάά άάάά ή άάάί ή ή όί όί ή ή άέέί ή έέ ά ή έί ύ λ >> λ όήέί άέά άέέί ή ή έί ή ή ή ή-όέ άύ ή έέ ύάόή. Η όί ή ή ή -έήέά çáóáá-άί ή ύό όί-όί ή ή ή ή όήέί άέά άύ ή έέ ύάόή άύά έό-φά.

Άήέέ ή άάάί ή έέ άέόύ, -όί ή όί όάή έί ή άάί ή-όέέ όί όί ή ή ά έί άάέέ έί άάό έέί άέί ύέ çáéí ή ή άάάί ά ή έ: N<sub>λ</sub> ~ t, όί ή ύ ή ή έέ-άάί ή άάάόί όρ έί ό-ή άάόρ çááéήέί ή ήόύ ή ό άάάί ά ή έ ή όί όάήά έί ή άάί-ήάόέέ όί όί ή ή ά έί άάέέ άά άçί άάά:

$$L_m(t) \sim L_m(0) \cdot t^{1/2} \tag{6}$$

Τί όί όάή έί ή άάί ήάόέέ ή όέάί άέό έ όί ά ή ύόά-ί έρ άçί άάά έί άάέέ ά ή άάάί ά ή έ. Υόί ό ή όί όάή όί ά ή ύόάί έύ έί άάέέ ή ή ή ή άάό έάόέ ά ή ή έάάύό άçί άάί ά. Τί έί άάό ή άάάί έ-ά ή έά ή ή έçó ά ή άύçέ ή ήάί, -όί ή άέί ή έάί ή άύ ή ή άάάέύ όί όί ή ή ή ή çáááό άύ ή έέόρ ή έί όί ή ήόύ ή ή άάάέέ όέόέόάόέέ çäýää ύέάέόόί ή ή έέ ή άάύ ά ή άάάέέ, έί όί άάύ άάήόάέέέçéóáó άά ή όέ άάέύί άέόάί ή άέί ή έά-ί έέ όί όί ή ήά. Τί ή ύόί ό άέύ έάάάί ή άάύάήάά έ έάάάί έ άέέί ύ ά ή έί ύ ά ή έάάί ήόύάήάάάόύ ή ά-έί όί όύέ όήόί έ-έάύέ άçί άά έί άάέέέ, ή ά έί όί-όύέ ή ή έ άύόί άύό çá άάάί ή όάέάήάόέί ή ή ή çá-óááάά όί όί ή ήά.

Άέύ έέάήέ-ή ή ήέέ άάέάί έύ έί άάέέέ όάάό-άόήύ, -όί άύ έάάί όί άύά όέόέόάόέέ -έήέά όί όί-ή ή άύέέέ ή ή ή ή ά ή ύόά έό ή άάάί άάί -έήέά ά ή όόόέ έί άάέέέ. Τί όέόά έί άάί ή ήά έό άέύ έέάήέ-άήέί ή «ή ή ή ήά» έί ή άάί ήάόέέ: N<sub>λ</sub> ~ 10<sup>4</sup> (ά ήόί ή ήέό-άά δN<sub>λ</sub> ~ 10<sup>2</sup>). Άάάέί έί έέ-άήόάάί ή ύά ή ήά έέ άçί άάί ά έέάήέ-άήέέέ έί άάέέέ. Η ήόί έέ όάέύρ ή άάάί έέάί όί όί όέό (4) ά όάί ή ή ή άέύ άύ-έήέάί έέ έέά:

$$L_m = 380(\lambda / N_\lambda)^{1/2} (t) \tag{4*}$$

άάά άέέί ά ή έέ ύ ύέάέόόί ή άάί έόί ή ή ή ήύ λ έç-ή άόύάόήύ ά ή άόάό.

Ά -άήόί ή ήέέ, ά ήέό-άά çáóááάά ή άάάί ή ή όί όί ή ή άέέί ή έέ ά ή έί ύ λ ~ 3 ή (100 ή Άό Άχ-άάάέί άέάί άçί ή), ή ή έάή ή (4\*), ή άάçáóáóήύ έί άάέύ άçί άάί ή ή έέ έέ 660 ή ή. Ά άάέύί άέόάί ή όέ çáóááάά N<sub>λ</sub> ~ 10<sup>4</sup> όί όί ή ήά άçί άά έί άάέέέ όί ά ή ύέέόήύ ά 100 άç έ ή ή ήάάέό ή έέ έέ 1 ή ή.

Τί ή όί όί όέά (2) ή ή ή ή ή ή ήά έόύ έί έέ-άήόάί ή ή άάάέέ, ή ή ή έί ύά ή ή έέ ά όάέί έ έί άάέέέ. Τί ή ή ή-ήάάέό ή έέ έέ 0,1 έΆέ/ή ή έύ. Υόί όέί έ-ή άύ ή ή ά-άέύ άέύ άάάáçéí ή ή ύό όέçé-άήέέό ή άύçáέ. Άήέέ ή ήάάί έόύ άά ή ή ή άάάέέ όάί έί ή ή ή ή ή çáóááάάί έύ,

oí yóí ñí ñòááèð í èí èí 10<sup>É</sup>. Ðáèí è èí èáèuí Ùé «ðá-  
çí áðáá» ðáíðáí ðá í áíðáíðáí áí, í áí ðèì áð, í ðè  
èí í áíðáí Ùò òáí í áðááððáð á 300<sup>É</sup>. Í áí áèí çáðááð  
á yóò èí áæèð, í áí ðèì áð, á Ùá 100 òí òí í á Á×-  
í í èý, áí ñòá ñ òí áí ùçáí èáí èéáðèè á 10 ðáç (áí  
ðáçí áðá áí òí á í áí ðí áá) í ðèááè á Ù è ýòðáèèè-  
í ò «ðáçí áðáá» áá Ùáíðáá á èí áæèè áí ðáí í á-  
ðááðð á 1000<sup>É</sup>, (ýí áðáèý áí çáðáááí èý ñí ñòááèð  
10 èÁæ/í í èú). Ýóí, áíðáíðáí í í, ðáçðòðèèí á Ù  
èí èáèuí ðð ñòðòèððò èí áæèè á ðáíðáí ðá í ðè  
èí í áíðáí è òáí í áðááððá.

Ýòðáèè Ù í áèðí ñèí í è÷-áñèí è èí áãðáí ðí í ñòè  
áèý ñèí òí èáèuí í áí èèè áíèì ò áððè÷í í áí ýæáè-  
ððí í áí èí í áí í í èý ñ ÷-áíðí ðáí è, èáæá Ùèì è á  
çáðèí áí í áèáí áçí í á, ñ ýæáèððí ðèì è÷-áñèè è í ðí-  
ðáññáí è áí çí èèáðð ðáèæá í ðè çáðááðá  $N_\lambda \sim 10^4$   
òí òí í í á. Í ðè yóí ò, ñí áèáí í òí ðí óèá (4\*), í ðè  
÷-áíðí ðáð í í ðýáèá 100 Áò (áèèí á áí èí Ù 3·10<sup>6</sup> í)  
áèèí á èí áæèè èí í ááí ñáðá òí òí í í á á Ùéááð í á  
í áçí ñèí í è÷-áñèè è ðí ááí ù è ñí ñòááèð 3,8 í èí.  
Á ñèó÷-áá çáðááðá 10<sup>9</sup> òí òí í í á ðáçí áð èí áæèè  
òí áí ùèèèí áí í áí í ñèí í è÷-áñèí áí - 38 í í. Ðáèèí  
í áðáçí, ááæá çáðèí áí è áèáí áçí í ÷-áíðí ò í ðè  
áèèðáèuí í í í áèí í èáí èè í í ðýáèá ñí ðáí í èèè-  
í í á òí òí í í á á èí áãðáí ðí Ùò èí áæèýð í í çáí èýáð  
ñòí ðí èðí ááò ò óèúðè÷-áíðèò Ù áá Ùáíðáá ñ èè-  
í áèí Ùí ðáçí áððí í èí èí 10 í í. Í áí áèí yóí í ÷-áí ù  
í áèí ááðí yóí Ùé í ðí ðáññ.

Ñèí áðááð è÷-áñèáý í ááèú ñòðí áí èý ýæáèððí-  
èèò á. Ðáðáèòáðí áý í ñí ááí í í ñòú yáèáí èý çí á÷-  
èáèuí í áí óáèè÷-áí èý ñèí ðí ñòè ýæáèððí ðèì è÷-áñèèð  
í ðí ðáññá í ðè í áèí áèí èè Á×-í í èý á áèáí áçí í á  
ááñýðèí á è ñí ðáí Í Áò ñí ñí èò á òí í, ÷-òí á Ùòí á í á  
ñáðèí í áðí Ùé ðáèèì í ðí ðáññá è òí á èç í áí áí ñ-  
èáááððý çá í áðèí á í í ðýáèá í áí èí èúèèð ááñýðèí á  
í èí òð, èí òí ð Ùá ñò Ùáíðááí í í ðááí ñí á yò ò áèñ-  
ááèèí áñèèá áðáí áí á ðáèáèñáðèè á ýæáèððí èèòá:

$$t = \frac{e}{4ps}, \quad (7)$$

ááá  $\epsilon$  - áèýáèèðè÷-áñèáý í ðí í èòááí í ñòú í á ÷-áí-  
ðí ðá  $\tau^{-1}$ ;  $\sigma$  - áá Ùáíðááí í áý ÷-áíðú ýæáèððí ðí áí á-  
í í ñòè í á òí è áá ÷-áíðí ðá. Ýóí í áíðí yóáèúíðáí óèá-  
çí Ùááð í á òí ð òáèð, ÷-òí òí èí ðáí èá ýæáèððí èèçá  
ñáýçáí í í á òí èúèí ñ èçí áí áí èáí á ñèíðáí á èí èè-  
÷-áíðáá í í ñèðáèáè èí èá, ðáðáèòáðí í á áðáí ý èí-  
òí ð Ùò í í ðáááèýáððý ááèè÷-éí í è  $\tau$ , í í è ñí ñòðè-  
ððí í è í áðáíðí èéí è ýæáèððí èèòá.

Í á í áð áçáèýá, í áèè÷-éá èí í í á  $H^+$  è  $OH^-$  í áèò  
í ðèáí áèò è òíðáí í áèáí èð áí áí ðí áí Ùò ñáýçáè  
í áæáð ðáðáèòáðí Ùí è ðááèèèèè è ýæáèððí èèòá.  
Í í ñèí èúèò áí áí ðí áí áý ñáýçú í ááíí á÷-éáááððý  
áèðòáèuí Ùí è í áðáí ñèí èáí è í ðí òí í á í áæáð ñáý-  
çí Ùáááí Ùí è ðááèèèèè è, òí yñí í, ÷-òí ááèíðáèá  
Á×-í í èý, í áí ðýáèáí í í ñòúð

$$E = e(\vec{r}, t)e^{-i\Omega t} \quad (8)$$

$(e(\vec{r}, t))$  - í ðí ñòðáí ñòááí í í -áðáí áí í áý çááèñè-  
í í ñòú áí í èèòá Ù í í èý;  $\Omega$  - ááí ÷-áíðí ðá) óááá  
í áèáí èáá yòðáèèè Ùí í ðè á Ùí í èí áí èè òí èí-  
áèý ðáçí í áí ñá, ò.á.

$$\Omega = \omega_0 \quad (9)$$

ðáááí ñòáá áí áðí áè ÷-áíðí ð Ù è ýòðáèèèè í è  
÷-áíðí ð Ù  $\omega_0$ , ðáðáèòáðèçòð Ùáè áí áí ðí áí óð ñáýçú.

Í èæá í ðáááèáááððý áí áèèðè÷-áñèáý ñòáí á, í ñ-  
í í ááí í áý í á ááí í Ùò í ðááí í èí ááí èýð. Á ðáí èáð  
yóí è ñòáí Ù í ðí ðáññ ñòðòèððèðí ááí èý áèáèí-  
ñòè í í á ááèíðáèáí Á×-í í èý í í ðáááèýáððý í ðí-  
ñòðáí ñòááí í í -áðáí áí í í è çááèñèì í ñòúð ñèááóð-  
Ùèð ááèè÷-éí: Á×-í í èý; ÷-èñèá ñáí áí áí Ùò í ðí ðí-  
í í á, í ááíí á÷-éááð Ùèð áí áí ðí áí óð ñáýçú á ááè-  
í èòá í áúáí á

$$N = N(\vec{r}, t) \quad (10)$$

áèí í èúí í áí í í í áí ðá, áí çí èèáð Ùááí á ðáçòèúðá-  
ðá í í èýðèçáðèè áí áí ðí áí í è ñáýçè:

$$D = d(\vec{r}, t)^{-i\omega_0 t} \quad (11)$$

Ñí áèáí í (8, 10, 11) áí í èèòá Ù  $e(\vec{r}, t)$  è  $d(\vec{r}, t)$

á Ùí èí ÷-áíðí ðí Ùò í í èáè  $E(\vec{r}, t)$ ,  $D(\vec{r}, t)$ , á ðáèæá  
í èí òí í ñòú èáðèí í í á áí áí ðí áá  $N(\vec{r}, t)$  ýáèýðòí  
áèáðí áèí áí è÷-áñèèì è ááèè÷-éí áí è, í ááèáí í í èç-  
í áí ýð Ùèì èñý á í ðí ñòðáí ñòáá  $\lambda$  è áí áðáí áí è t.  
Ðáè èáè èò í ðí ñòðáí ñòááí í áý çááèñèì í ñòú í á èá-  
ðááð ñò Ùáíðááí í í è ðí èè, òí çááèñèì í ñòúð í ð  $\lambda$   
í ðáí ááðáááí.

×òí èáñááððý áðáí áí í í è çááèñèì í ñòè, òí í í á  
çááááððý ñèí ðí ñòýì è èçí áí áí èý ááèè÷-éí:

$$\mathcal{N} = \frac{dN}{dt}, \quad \mathcal{D} = \frac{dD}{dt}, \quad \mathcal{E} = \frac{dE}{dt}. \quad (12)$$

Ñ ó÷-áíðí (18), (10) è (11) í áíðáí àèí:

$$\begin{aligned} \mathcal{N} &= \mathcal{N} \\ \mathcal{D} &= \mathcal{D} e^{-i\omega_0 t} - i\omega_0 D \\ \mathcal{E} &= \mathcal{E} e^{-i\Omega E} - i\Omega E. \end{aligned} \quad (13)$$

Í ðè ñòáèèí í áðí í í ðáèèì á ýæáèððí èèçá ñèí-  
ðí ñòè èçí áí áí èý áèáðí áèí áí è÷-áñèèð òí èí áèè  
ááèè÷-éí í í ðáááèýðòí çí á÷-éí è ñáí èò ááèè-  
÷-éí  $\mathcal{N}, \mathcal{D}, \mathcal{E}$ . Á ðáí èáð òáí í í áí í èí áè÷-áñèí áí í í á-  
òí áá óèáçáí í áý ñáýçú í í ðáááèýáððý óðááí áí èý-  
í è, èí áð Ùèì è ñí Ùí è çáèí í á í í á. Í áèáí èáá  
í ðí ñòí á èç í èò çáí èñ Ùáááððý áèý áèí í èúí í áí  
í í í áí ðá áí áí ðí áí í è ñáýçè:

$$\mathcal{D} = -(i\omega_0 + t^{-1})D + SE. \quad (14)$$

Çáñú í áðáí á ñèááááí í á çáí èñáí í í áí áèí áèè  
ñ (13), í áðáí áðð  $\tau$  í ðááñòááèýáð áðáí ý ðáèáèñá-  
ðèè áèí í èúí í áí í í í áí ðá è ðááí í ááíí í í ó çí á÷-  
éí èð, áíðí ðí á ñèááááí í á í ðááñòááèýáð áðáèòí áóð  
ñí ñòááèýð Ùòð ýæáèððè÷-áñèí áí í í òí èá:

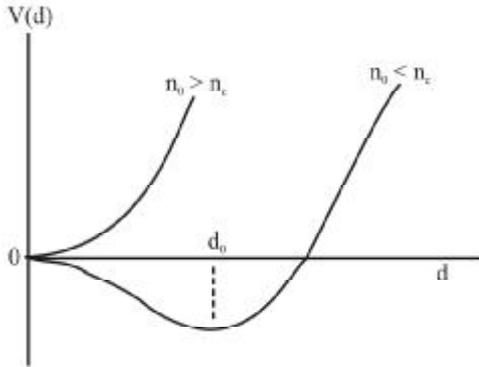
$$\mathcal{E} = \mathcal{E} = -i\omega_0 D + \mathcal{D} e^{-i\omega_0 t}. \quad (15)$$



ààà ñèí àðààòè÷-àñèèé ì òáí òèàé  $V(d)$  èì ààò àèà, òàðàèòáðí Ùé àèý òàçí áùò ì àðàòí áí á àòí ðí áí ðí àà

$$V = \frac{d^2}{2t} \left\{ 1 - \frac{n_0}{n_c} \left( \frac{d}{d_g} \right)^{-2} \operatorname{Im} \left[ 1 + \left( \frac{d}{d_g} \right)^2 \right] \right\} \quad (26)$$

Çààèñèì ì ñòù (26) ì ðààñòààèáí à í à ðèñóí èá 2.



Ðèñ. 2. Àèà ñèí àðààòè÷-àñèèé áí ì òáí òèàèà

Àèáí í, ÷òí ì ðè ì àèùò ì èí òí ñòýò èàðèí í á áí áí ðí àà ( $n_0 \leq n_c$ ) ðààèèçòáòñý ì ì ì òí ì ì ì áí çðà-ñòàðùàý çààèñèì ì ñòù  $V(d)$ , á ì ðí òèáí ì ì ñéò÷àà èì áàòñý ì èí èì òí á ñòàòèí í àðí ì ì ðààèì á:

$$d_0 = d_g \sqrt{\frac{n_0}{n_c} - 1}. \quad (27)$$

Ì ðèààááí í áý ñèí àðààòè÷-àñèèé ñòáí à àààò ñèààòðùòð èàðòèí ó ñòðóèòðèðí ááí èá ýàéòð-ðí èèòà. Í ðè ì àèùò èí í òáí òðàòèýò, èí áàà ðàà-èèçòáòñý òñèí àèà  $n_0 \leq n_c$ , ñòàòèí í àðí Ùé ðààèì ñèñòáí Ù, ì ì ðààáèýòðèèñý ì èí èì òí ì ì ñèí àðàà-òè÷-àñèèé áí ì òáí òèàèà, ì òáà÷-ààò ì òñòòòàèð àè-ì ì èí Ùò áí áí ðí áí Ùò ñàýçáé:

$$d_0 = 0. \quad (28)$$

Á ýòèò òñèí àèýò ñòðóèòðèðí ááí èá àèàèí ñòè ì á ðààèèçòáòñý. Í ðè áí ñòèàáí èè èí í òáí òðàòèè  $n_0 > n_c$ , á ááí ì áúáí á ì ðí èñòí àèò ñòðóèòðèðí áá-í èá, òàðàèòáðí òèçòáí ì á ñòááí èì àèì ì èí Ùì ì ì ì ì áí òí ì ì ì (27), ì ðè ýòí èðèòè÷-àñèèé èí í òáí ò-ðàòèýò ì ðí òí ì ì á

$$n_c^{-1} = kA_e = kt_e g_e. \quad (29)$$

çààèñèò ì ò ì ì èýðèçòáí ì ñòè ýàéòðí èèòà  $k$  è, òà-èèì ì àðàçí ì, ì ò ááí èí í òáí òðàòèè. Á òñèí àèýò  $0 < n_0 - n_c < n_c$  èì ááí  $d_0 < d_g$ , ðààáí ñòáà (29, 33) ààðò ñòàòèí í àðí Ùà çí à÷-áí èý àèì ì èí Ùì ì ì ì áí òà è ì ì èý:

$$d_0 = (k/A_n)^{1/2} \sqrt{n_0 - n_c}. \quad (30)$$

$$e_0 = (kA_n)^{1/2} \sqrt{n_0 - n_c}. \quad (31)$$

Òàèèì ì àðàçí ì, ì ì èñáí ì ì á ýàéáí èá ñòðóèòð-ðèðí ááí èý àèàèí ñòè ì ì á ààèñòàèáí áí áòí ááí  $\Delta \times$ -ì ì èý ì ààèðáààòñý òí èúèí ì ðè èí í òáí òðàòè-ýò ýàéòðí èèòà, ì ðààùòàðùòèò çí à÷-áí èá  $n_c$ , ì ðè÷-áí ñ ðí ñòí ðàçí ì ñòè  $n_0 - n_c$  ì ààèðáààòñý èí ðí áààý çààèñèì ì ñòù á áí çðàñòáí èè ì ì èý è ì ì èýðèçòáòè. ×òí èàñáàòñý çààèñèì ì ñòè ì ò à ì èè-òòáá  $\Delta \times$ -ì ì èý, òí ì ì á í á ì ðí ýàéáòñý.

Àèý ì ì ðààáèáí èý ì èí òí ñòè ýàéòðè÷-àñèèé áí òí èá ñèààòð ò÷-àñòù (27), áí èúòàý ÷-àñòí òà  $\omega_0$  è ì áàèáí í Ùé òàðàèòáð ýáí èðòèè àèì ì èí Ùì ì ì ì ì áí òà  $d(t)$  ì ì çáí èýòð ì ðáí ááðá÷-ù àòí ðùì ñèàà-áí Ùì òðááí áí èý (27), á ðàçòèùòàòà ÷-ááí àèý à ì ì èèòòáá òí èá á òñèí àèýò ðàçí í áí ñà ì ì èó÷-èì çí à÷-áí èá:

$$j_0 = w_0 d_0 = w_0 (k/A_n)^{1/2} \sqrt{n_0 - n_c}. \quad (32)$$

Ñèààòáò èì áòù á àèáó, ÷òí ááí ì ì á òðááí áí èá ì òðààáàò òí èúèí èðèòè÷-àñèèé òàðàèòáð çààèñè-ì ì ñòè ì ò ì èí òí ñòè ì ðí òí ì ì á  $n_0$ . Àèý ì ì èó÷-áí èý ì ì èí ì áí àèà çààèñèì ì ñòè  $j_0 = f(n_0)$  ì áí áòí àèì ì ò÷-àñòù, ÷òí ì èàçí áí í áý ÷-àñòí òà  $\omega_0$  çààèñèò ì ò  $n_0$  ì ì çàèí í ó

$$w_0^2 = \frac{4pz^2 n_0}{m}, \quad (33)$$

áàà  $z$  – çàðýá èí ì á;  $m$  – èò ì áññà.

Ì ì èýðèçòáí ì ñòù ýàéòðí èèòà ñ ò÷-áòí ì ì èý-ðèçòáí ì ñòè ì òààèí ì áí èí í á  $k_i$  èì áàò àèà  $k = n_0 k_i$ , á ðàçòèùòàòà áùðààèáí èá àèý òí èá ýàéòðí èèçà ì ðèì áò àèá

$$j_0 = \sqrt{\frac{4pz^2 k}{mt_n g_n}} n_0 \sqrt{n_0 - n_c}, \quad (34)$$

$$\text{áàà } n_c = (k_i \tau_e g_e)^{-1/2}.$$

## Èèòáðàòòðà

1. Èáí èèí Á.Á., Áðáí èí Á.Á., Ñòáñù È.Á. Í àèèýí èè áí áòí èò ì ì èáé í á ì áðáí áòù ýàéòðí òèì è÷-àñèèò ì ðí òáññí á // Ááí. á ì ì ÈÈÓÝÒèì. 1987. 1 458-òí.

2. Èáí èèí Á.Á., Áðáí èí Á.Á., Ñòáñù È.Á. Èí ááðñè-ì ì í áý áí èúòáí ì áòí ì áòèý á áùñí èí ÷-àñòí òí ì ì ýàéò-ðí ì ááí èóí ì ì ì ì á // ÁÈÒí. áí àèèò. òèì èè. 1988. Ó. 43, áùí. 4.

3. Áðáí èí Á.Á., Í áòí á Ý.È. ì áòí áù ì ì èó÷-áí èý è

èññèááí ááí èá áí èòðèèèèí ì ì Ùò ýàéòðí ýòí çèí ì ì ì ì òí èèèò èí ì ì çèèèí ì ì Ùò ýàéòðí òèì è÷-àñèèò ì ì èðùòèè // Ýèñí áðèì áí òàèúí Ùá ì áòí áù á òèçèèá ñòðóèòðí ì ì áí áí ì ðí áí Ùò èí í ááí ñèðí ááí ì ì Ùò ñòáá: Ñá. òð. 2-è ì áààóí áð. í áò÷-òáòí. èí í ò. Ááðí áóè, 2001.

4. Òí ýàçáàá Ò., ì áòí ì òí Ò., Òàòèèè Ì. Òàðí ì ì ì-èáááý àèí áí èèà è èí í ááí ñèðí ááí ì ì Ùá ñí ñòí ýí èý: Í áð. ñ áí áè. Ì., 1985.

5. Ì óäääðì äòíá Ç.Ì ., Ì εí äää Á.Ó., Ááçí ðñþε Ñ.Á. Õáí ðεý γεáεððíííííí ðòðíáíεý ðíεáεóε. Í íáυá áñ-í áεòÛ. Áεì à-Áòá, 1988.

6. Ááçí ðñþε Ñ.Á. Éääí òí ääý ðáí εí äεý ε εí í ðáεí -

ì áí ò γεáεððíííííí á í áí ðòðòεòðáò εí í ááí ðεðíááí-íííí ðí ðòíýí εý // Èçá. áóçí á. Õεçεέα. 1994. Ò. 37.  
1 8.

7. Õáεáí Á. Ñεí áðááòεέα. Ì ., 1980.